El cerebro, como el resto de nuestros órganos, se desarrolla mientras crecemos. ¿Qué y cuándo debe enseñársele a un niño o a un adolescente para obtener un aprendizaje óptimo? Este libro responde a esta pregunta. Las autoras investigan el aprendizaje del lenguaje, las matemáticas, la música, las artes plásticas, las emociones y la sociabilidad; estudian las disfunciones que –como la dislexia– dificultan el aprendizaje y reflexionan sobre la verdadera utilidad de las nuevas tendencias pedagógicas como el aprendizaje temprano...

Sirviéndose de las más recientes investigaciones de la neurociencia aplicada a la educación, *Cómo aprende el cerebro* analiza la mejor manera de desarrollar la memoria y potenciar el aprendizaje de conocimientos y emociones en niños y adolescentes.

Un deslumbrante viaje por el cerebro de niños y adolescentes. Un estudio puntero sobre el cerebro y el aprendizaje. Un libro imprescindible para padres, educadores, psicólogos y cualquier persona interesada en las potencialidades del cerebro.

942316
9 788434 453050

Ariel

Sarah-Jayne Blakemore / Uta Frith CÓMO APRENDE EL CEREBRO

Ariel

Sarah-Jayne Blakemore / Uta Frith

CÓMO APRENDE EL CEREBRO

LAS CLAVES PARA LA EDUCACIÓN

Prólogo de **José Antonio Marina**

Ariel

ganz1912

ganz1912

Sarah-Jayne Blakemore y Uta Frith

CÓMO APRENDE EL CEREBRO

LAS CLAVES PARA LA EDUCACIÓN

Prólogo de
José Antonio Marina

Traducción de
Joan Soler

Ariel

Investigadora de la Royal Society Dorothy Hodgkin en el Instituto de Neurociencia Cognitiva del University College de Londres. Está especializada en el desarrollo del cerebro durante la adolescencia y el aprendizaje social de los autistas. En el año 2000 el Parlamento británico le encargó un informe sobre la educación infantil para la comisión educativa.

UTA FRITH
Profesora de Desarrollo Cognitivo y directora del Instituto de Neurociencia Cognitiva del University College de Londres. Es una de las más destacadas autoridades mundiales en autismo y dislexia, y autora de varios libros muy elogiados sobre el autismo y el síndrome de Asperger.

ganz1912

ÍNDICE

Prólogo, de José Antonio Marina 5
Agradecimientos 11
La historia que se cuenta en este libro 13
1. Cerebro y educación: tópicos, errores y nuevas verdades 19
2. El cerebro en desarrollo 37
3. Palabras y números en la infancia temprana 63
4. El cerebro matemático 87
5. El cerebro alfabetizado 107
6. Aprender a leer y sus dificultades 127
7. Trastornos del desarrollo socioemocional 145
8. El cerebro adolescente 167
9. Aprendizaje a lo largo de la vida 183
10. Aprender y recordar 205
11. Diferentes formas de aprendizaje 221
12. Aprovechamiento de las capacidades de aprendidaje del cerebro 243
Apéndice 273
Lecturas adicionales recomendadas 283
Glosario 285
Créditos y fuentes de las ilustraciones 297

Título original:
The learning brain

1.ª edición: enero de 2007
2.ª impresión: febrero de 2007

© 2005 by Sarah-Jayne Blakemore and Uta Frith
© 2005 new and adapted figures by Sarah-Jayne Blakemore

This edition is published by arrangement with Blackwell Publishing Ltd, Oxford. Translated by Editorial Ariel from the original English language version. Responsibility of the accuracy of the translation rests solely with Editorial Ariel and is not the responsability of Blackwell Publishing Ltd.

Derechos exclusivos de edición en español
reservados para todo el mundo
y propiedad de la traducción:
© 2007: Editorial Ariel, S. A.
Avda. Diagonal, 662-664 - 08034 Barcelona

ISBN 978-84-344-5305-0

Depósito legal: B. 7.292 - 2007

Impreso en España por
HUROPE, S. L.
Lima, 3 bis
08030 Barcelona

Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los titulares del *copyright*, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

PRÓLOGO

Hace ya muchos años, la lectura de las obras de un gran científico, A. R. Luria, despertó mi pasión por la neurología. Es una pasión multiforme, que oscila entre el entusiasmo ante los increíbles logros que esta ciencia ha alcanzado en las últimas décadas, y la perplejidad ante los problemas que plantea. Cada puerta que abre no nos lleva a la luz, sino a otro pasillo con numerosas puertas que debemos abrir y que, a su vez, comunican con otras salas, escaleras, sótanos, que tienen más puertas todavía. Ya saben que el cerebro está compuesto de neuronas, células que poseen unas estructuras arborescentes, llamadas por eso «dendritas», palabra derivada del griego *dendron,* «árbol». Pues bien, nos encontramos ante un tupidísimo bosque, formado por unos cien mil millones de árboles, muchos de ellos con más de cien mil ramas, que se entrecruzan, injertan, mueren, rebrotan, a través del cual iniciamos una exploración botánica para herborizar, clasificar y comprender su funcionamiento.

Ante tanta complejidad, necesitamos una guía sencilla que nos permita disfrutar de lo descubierto, sin perdernos. La necesitamos, porque ese bosque es el entramado del que surge nuestra vida consciente, nuestras emociones, nuestro comportamiento, la regulación de nuestro organismo. Pues bien, en este libro, Sarah-Jayne Blakemore y Uta Frith, dos científicas del Institute of Cognitive Neuroscience del University College de Londres, nos conducen a través de la selva, con rigor y seguridad. Son dos guías fiables.

La neurociencia cognitiva es una ciencia nueva que pretende estudiar la base neuronal —por lo tanto, física— de los fenómenos conscientes, de nuestros pensamientos, emociones, preferencias, conflictos. Lashley, Hebb, Hubel, Weisel, Kandel,

Sperry, Damasio, nuestro compatriota Joaquín Fuster y muchos otros se han esforzado en relacionar nuestra experiencia con las áreas cerebrales de las que depende. Las autoras de este libro se han especializado en el estudio de patologías tan complejas como el autismo, pero en esta obra estudian la neurología del aprendizaje para que los educadores saquen consecuencias prácticas de su trabajo teórico. Como docente, este objetivo me parece extraordinariamente interesante. Nos conviene saber que todo aprendizaje está posibilitado por las estructuras neuronales del cerebro de nuestros alumnos, que, al mismo tiempo, están siendo cambiadas por el aprendizaje. Con gran prudencia, las autoras advierten que no son especialistas en educación, y que desearían que su trabajo fuera continuado por pedagogos expertos, para mejorar el sistema educativo. Esperemos que sea así, porque lo necesitamos.

Les pondré un ejemplo. Hace unos años se lanzó en Estados Unidos una campaña cuyo lema era «Los primeros tres años duran siempre». Intentaba llamar la atención sobre la importancia de ese período de tiempo en la formación de la personalidad del niño y del adulto. Esto despertó muchas expectativas y muchas angustias. Se pensó que, con una precoz e intensa acción educativa, podrían conseguirse superbebés con cerebros privilegiados, y ésta era una posibilidad estimulante, que planteaba, sin embargo, una cuestión dramática: ¿Y si no se habían aprovechado bien esos años? Que el destino de toda una vida dependiera de lo que sucedía en tan breve espacio de tiempo provocaba con razón desasosiego. Hace más de una década John T. Bruer publicó *El mito de los tres primeros años* para poner las cosas en su punto justo. Este problema vuelve a tratarse con gran rigor en el libro de Blakemore y Frith. ¿Existen realmente períodos críticos en el aprendizaje? ¿Puede ser demasiado tarde para aprender? Los entornos enriquecidos de la infancia temprana ¿mejoran el desarrollo cerebral? ¿O ya bastan los entornos normales? ¿Cómo hacen los niños para aprender sobre el mundo y sobre las demás personas? ¿Por qué cuando se aprende una lengua a partir de cierta edad, aunque se acabe siendo bilingüe, nunca se adquiere una pronunciación perfecta? Un descubrimiento maravilloso. Los niños tienen tantas ganas de aprender a hablar, que a los tres meses, mientras duermen, si alguien habla cerca de ellos activan las mismas regiones cerebrales que cuando estaban despiertos.

Las autoras no niegan que haya momentos especialmente adecuados para ciertos aprendizajes, pero dan una visión optimista de este asunto. La capacidad para aprender una lengua disminuye a partir de los trece años. Antes de esa edad todos somos genios lingüísticos. Pero las neurociencias nos dicen que el cerebro adulto, o al menos ciertas regiones del mismo, es casi tan maleable como el del niño, y esto es una gran noticia. La plasticidad cerebral se mantiene. Éste es un término clave, «plasticidad»; con él se designa la capacidad del sistema nervioso para adaptarse continuamente a circunstancias cambiantes, cosa que ocurre cada vez que aprendemos algo. El cerebro adulto tiene una enorme capacidad para el cambio y para el aprendizaje, pero no hay que olvidar que una ley de hierro rige los acontecimientos neuronales: lo que no se usa, se pierde. De ahí la necesidad de recomendar una actitud mentalmente activa en todas las etapas vitales: infancia, adolescencia, madurez, ancianidad. Éste es uno de los mensajes claros del libro: nuestro cerebro está diseñado para la acción. La pereza, la pasividad y la rutina lo intoxican. Acabo de terminar un libro titulado *La magia de escribir* que presenta una teoría del aprendizaje basada en fomentar las actividades «más activas» de la mente. De modo metafórico, más allá de la benéfica actividad de leer, hay que fomentar la plena superactividad de escribir, es decir, de expresarse, de inventar, de decidir, de actuar. Blakemore y Frith lo confirman, y añaden algo más: «El aprendizaje de la lectura y la escritura cambia la estructura cerebral. Dicho de forma contundente: el cerebro de quien sabe leer y escribir es distinto al de un analfabeto.»

Las autoras dedican mucho espacio a las investigaciones sobre el aprendizaje de la lectura y de la escritura y las causas por las que unos niños aprenden más rápidamente que otros. Lo mismo hacen con las matemáticas. Las dos son especialistas en la detección y el tratamiento de factores neuronales que afectan a estos aprendizajes: la dislexia, la discalculia o el autismo.

Muchos de los temas tratados en este libro me interesan especialmente. La mayor parte de nuestros conocimientos proceden de la experiencia; sin embargo, los niños nacen sabiendo muchas cosas, que les permiten reconocer caras, comprender los estados mentales de otras personas, predecir relaciones causales, calcular, por ejemplo. Todo niño es un niño prodigo.

Ésta es una de las cosas que me impresionan mucho. Otra tiene que ver con una investigación en la que estoy empantanado desde hace tiempo: la inteligencia inconsciente. Nuestra memoria conserva información de la que no hemos sido conscientes y, además, la maneja muy inteligentemente, sin que nosotros lo sepamos. Nadie puede explicar lo que hace para decir una frase, ni para mantener el equilibrio cuando monta en bicicleta. Tenemos una sala de máquinas inconsciente —la he llamado *inteligencia computacional*— que nos va proporcionando sin parar ocurrencias y destrezas. Una de las grandes tareas de la educación es ayudar a construir un yo ocurrente fluido, fértil, animoso, optimista, tenaz. La otra gran tarea consiste en formar un sistema de autocontrol —lo he llamado *inteligencia ejecutiva*— que se encargue de seleccionar, iniciar, dirigir esas ocurrencias. Es el origen de nuestra libertad. Alcanzar un buen desarrollo y coordinación de ambas inteligencias es nuestra gran meta pedagógica.

En este libro se tratan ambos temas —la inteligencia computacional y la ejecutiva—, revisando las investigaciones más recientes. Un capítulo muy sugestivo trata de la evolución del cerebro adolescente, asunto que no estaba bien estudiado. La idea de que el cerebro sigue desarrollándose después de la infancia es relativamente nueva. Ahora sabemos que la corteza frontal, la aristocracia cerebral, la región planificadora y ejecutiva, continúa desarrollándose durante la adolescencia. Por eso es necesario prolongar la etapa educativa. El cerebro está todavía moldeándose durante esos conflictivos años. Y deberíamos centrarnos en el fortalecimiento del control interno, porque es cuando los adolescentes disponen de estructuras neuronales para hacerlo. Hay otro dato curioso que explica muchos de los comportamientos adolescentes. Todo el mundo sabe que uno de los mecanismos del aprendizaje es la imitación. Pues bien, el cerebro de los adolescentes aprende por imitación también, pero selectiva. Está preparado para recibir influencia de sus iguales. Cuando insistimos tanto en la sumisión de los adolescentes al grupo, estamos refiriéndonos a un comportamiento que hunde sus raíces en el cerebro.

A los educadores nos preocupan mucho algunos problemas que tienen un origen neuronal, que se describe en este libro. Por ejemplo, la «hiperactividad por déficit de atención». Se trata de niños cuya atención está atrapada por estímulos

externos fugaces y a menudo inadecuados. Son víctimas de una impulsividad que les dificulta el control de su conducta, lo que complica sus relaciones sociales con otros niños o el progreso escolar. En Estados Unidos, un 5 % de los niños está diagnosticado de esta disfunción. Como la capacidad de atención y control dependen del lóbulo frontal, que, como he comentado, sigue desarrollándose hasta la adolescencia, en muchos casos esos déficit pueden ser tan sólo una ralentización del «autocontrol», que debemos ayudar a remediar. Las exploraciones con resonancia magnética han mostrado que tienen más pequeñas las áreas frontales que inhiben pensamientos y acciones.

Éstas y muchas otras cosas pueden aprenderse en este libro, que aúna el rigor teórico y las implicaciones prácticas. Hay algo que echo en falta. El afán de precisión, la sobriedad expositiva de estas científicas, a veces oculta la emoción, el entusiasmo que hay detrás de estas investigaciones. El mundo del cerebro es fascinante. Un kilo y medio de sustancia gelatinosa produce los sentimientos, las ideas, los actos generosos, el amor, el arte, la ciencia. Lo más humilde produce lo más grande. Este fabuloso salto oculta un gran misterio. Cuando multiplicamos, la actividad es realizada por nuestras neuronas, pero el acierto o el error en la multiplicación depende de las matemáticas. Vivimos siempre gracias a una actividad fisiológica que podemos dirigir mediante contenidos que van más allá de la fisiología. Pertenecemos a dos mundos: el mundo de la neurología, y el mundo de las creaciones fundadas en la actividad neuronal, pero que la trascienden. Este hecho me conmueve y quiero dejarles constancia de mi conmoción.

Ahora viene lo verdaderamente interesante: leer el libro.

JOSÉ ANTONIO MARINA

AGRADECIMIENTOS

No habríamos podido escribir este libro sin la colaboración de numerosos amigos y colegas que nos procuraron información, nos hablaron de su trabajo y nos facilitaron gráficos y otras ayudas visuales. Nos sentimos profundamente agradecidas por ello. También nos gustaría dar las gracias a nuestros colegas del Instituto de Neurociencia Cognitiva y el Departamento Wellcome de Neurociencia en imágenes por haber comprobado datos y leído partes del manuscrito, en concreto Jon Simons, Sam Gilbert, Lauren Stewart, Suparna Choudhury y Antonia Hamilton. Estamos muy agradecidas a las siguientes personas por haber leído y revisado borradores del libro: Paul Howard-Jones, Andrée Blakemore, Chris Frith, Colin Blakemore y James Kilner. Hemos sacado un inmenso provecho de los comentarios que, sobre versiones anteriores del libro, habían hecho Christopher Ball, Christopher Brookes, Janet Hatcher, Maggie Snowling y Sam Hood. Erin Hope Thompson prestó una gran ayuda con el índice. También manifestamos nuestro agradecimiento a la Wellcome Trust, el MRC (Medical Research Council) y la Royal Society por financiar nuestras investigaciones.

LA HISTORIA QUE SE CUENTA EN ESTE LIBRO

El propósito de este libro es demostrar con ejemplos cómo las investigaciones sobre el cerebro y el aprendizaje pueden influir en el modo en que pensamos sobre la enseñanza. Mientras analizamos los estudios cerebrales sobre el aprendizaje, tratamos todo el tiempo de señalar repercusiones —a menudo especulativas— para la educación donde acaso no haya nada. No tenemos formación como profesores y no llevamos a cabo investigación educacional, por lo que sería impertinente por nuestra parte hacer sugerencias concretas referidas a la enseñanza. Sin embargo, cabe imaginar que lectores con títulos y experiencia en el terreno educativo quizá sí sean capaces de plantear sus propias ideas partiendo de los estudios que examinamos. Por otro lado, buena parte de estos estudios aún no están listos para que podamos sacar conclusiones de los mismos; cuando pensemos que éste es el caso, así lo indicaremos.

Haremos un viaje neurocientífico a través de la infancia, la adolescencia y la edad adulta. Si el lector sólo tiene interés en el aprendizaje de los adultos, puede perfectamente empezar por el capítulo 9 —no hace falta que lea los primeros capítulos para entender los posteriores—. Cuando sea inevitable el uso de la jerga científica, esperamos que el glosario y el apéndice sean de utilidad.

El libro comienza ofreciendo una perspectiva general de las investigaciones sobre el desarrollo cerebral y considerando si estos estudios pueden inspirar directamente las políticas o las prácticas en la educación. Sobre el desarrollo del cerebro, aún hay muchas creencias falsas que impregnan el dogma educacional. Continuamente oímos hablar de *períodos críticos* en

el aprendizaje. Una amiga nuestra nos explicó que, a su juicio, lo mejor para su hijo pequeño sería «colocarlo en un invernadero» donde escuchara música clásica y grabaciones de gramática y vocabulario en distintos idiomas y se le mostraran tarjetas ilustrativas con letras y números escritos. Quería asegurarse de que el niño aprendía todo lo posible durante este período crítico, y le preocupaba que transcurridos cuatro años fuera «demasiado tarde» para ello.

Pero, ¿existen realmente períodos críticos para el aprendizaje en la infancia temprana? ¿Puede llegar a ser demasiado tarde para aprender? Los entornos enriquecidos en la infancia temprana, ¿mejoran el desarrollo cerebral? ¿O los entornos normales ya bastan? ¿«Colocar a los niños en invernaderos» es algo bueno o puede dañar su desarrollo? ¿Cómo hacen los niños para aprender sobre el mundo y otras personas? ¿Este conocimiento se produce a partir de la instrucción formal? ¿O se desarrolla mejor sin ninguna enseñanza explícita, mediante el juego, la exploración, el habla cotidiana y la interacción social con sus hermanos y sus iguales? En el capítulo 2 tratamos de abordar cuestiones controvertidas como éstas evaluando pruebas científicas de cómo se desarrolla el cerebro.

Muchas personas creen que la educación es aprender a leer, escribir y hacer cálculos aritméticos. Alguien que conocemos afirmaba que su bebé de seis meses sabía contar tras habérsele enseñado a hacerlo mediante tarjetas ilustrativas. ¿Puede ser verdad esto? Las destrezas como el cálculo se adquieren gracias a la instrucción formal, ¿no? ¿O es que los bebés tienen capacidades matemáticas sutiles? ¿Qué se desarrolla antes de que la instrucción empiece siquiera? ¿Desarrollarían los niños conocimientos matemáticos por medio de conductas cotidianas como la de compartir?

Muchos de nuestros amigos japoneses no aprecian la diferencia entre los sonidos R y L. ¿Cómo es esto? ¿Cómo pueden los niños pequeños aprender reglas gramaticales sin que se les expliquen de manera explícita? En muchos países, los niños comienzan a ir a la escuela a una edad cada vez más temprana y se les enseña a leer y a escribir antes de los cinco años. Pero las ciencias cerebrales han revelado que, por lo general, la coordinación precisa de los dedos no se alcanza al menos hasta los cinco años y progresa más lentamente en los chicos que en las chicas —así pues, ¿cinco años es una edad demasiado prematura para enseñar a los niños a escribir?—. Algunos niños presentan profundas dificultades en la escritura, lo cual se debe a menudo a problemas en la coordinación motora que reciben el nombre de *dispraxia*. En el capítulo 3 analizamos el desarrollo de la lectura, la escritura y el cálculo aritmético.

En el capítulo 4 describimos los procesos cerebrales implicados en las matemáticas. ¿Por qué resulta que unos tipos de matemáticas dependen de cálculos espaciales y otros del lenguaje? Examinamos el modo en que diferentes partes del cerebro tienen que ver con distintos aspectos de las matemáticas. Abordamos las leves anomalías cerebrales que pueden dar origen a *discalculia* del desarrollo e incompetencia en aritmética.

¿Qué cree el lector con respecto a su cerebro? ¿Que es diestro o zurdo? ¿Debería esto influir en el modo de educar a la gente? ¿O esto es una soberana estupidez?

Seguramente ya sabemos que, en comparación con los hombres, las mujeres son peores en matemáticas y en capacidades espaciales. ¿Es realmente así de simple?

En el capítulo 4 nos ocupamos de estos dos polémicos temas: la teoría del cerebro derecho/cerebro izquierdo y las diferencias de género en el cerebro.

Las investigaciones cerebrales han empezado a desvelar los sistemas del cerebro involucrados en la capacidad de leer y escribir; los analizamos en el capítulo 5. Estos estudios han puesto de manifiesto que el efecto de la alfabetización en el cerebro también afecta al procesamiento del lenguaje hablado. ¿Hay períodos sensibles para aprender el lenguaje? ¿Y qué pasa si se aprende más de un idioma a una edad temprana? ¿Cómo funciona el cerebro de los sordos para procesar el lenguaje de los signos?

En el capítulo 6 hablamos de lo que las investigaciones sobre el cerebro nos han revelado sobre aprender a leer y la *dislexia*. ¿Aprender a leer música es lo mismo que aprender a leer palabras? ¿Es posible demostrar la existencia de cambios en el cerebro de personas disléxicas tras enseñarles a leer?

En el capítulo 7 nos ocupamos de trastornos del desarrollo que afectan a la experiencia social y emocional, concretamente el autismo, las conductas alteradas y los trastornos por déficit de atención. Ciertas teorías sobre estos trastornos del desarrollo y sus fundamentos en el cerebro tienen repercusiones en la enseñanza compensatoria.

Las investigaciones están evidenciando que en la adolescencia el cerebro experimenta una segunda oleada de desarrollo. La adolescencia es una época caracterizada por el cambio hormonal, físico y mental. En los últimos años, se han puesto en marcha diversos proyectos innovadores que evalúan el desarrollo de los procesos cerebrales durante los años de la secundaria. Estos estudios han mostrado que durante la adolescencia el cerebro aún se está desarrollando, cuestión que analizamos en el capítulo 8.

En los capítulos restantes nos ocupamos de cómo aprende el cerebro adulto. Tal como hemos dado a entender en párrafos anteriores, recientes investigaciones sobre el cerebro han revelado el fascinante hallazgo de que, contrariamente a lo que se creía antes, el cerebro adulto es capaz de cambiar de tamaño. ¿Sabía el lector que en los taxistas de Londres, cuya memoria espacial ha de ser excepcional, la parte del cerebro que almacena recuerdos espaciales es mucho mayor de lo normal? Además, es digno de notar que su tamaño depende del número de años que la persona ha estado conduciendo por las calles de la ciudad. ¿Cómo hace el ejercicio para potenciar tanto el aprendizaje como la función cerebral? En el capítulo 9 examinamos las investigaciones según las cuales el cerebro adulto puede experimentar cambios, en tamaño y en actividad, los cuales se producen generalmente debido al uso. Estos estudios ponen de manifiesto que el aprendizaje tiene lugar a lo largo de toda la vida.

Tal vez el efecto más importante de la neurociencia en la educación es la posibilidad de identificar y modificar las estructuras neurales que subyacen a distintos procesos de aprendizaje y memoria que simplemente suceden sin necesidad de prestar atención. ¿Cómo podemos aprender sin darnos cuenta? ¿Hay alguna diferencia entre, por un lado, recordar nombres y fechas y, por otro, episodios de la vida? Una de las principales aportaciones de la neurociencia es el esclarecimiento de la naturaleza del propio aprendizaje, tema que abordamos en el capítulo 10.

¿La imitación es algo bueno o mata la creatividad? ¿Podemos aprender una destreza nueva simplemente pensando en ella? ¿Cómo se puede incrementar el aprendizaje? Los neurocientíficos están empezando a conocer los mecanismos cerebrales que constituyen la base de los diferentes métodos de aprendizaje, cuestión que examinamos en el capítulo 11.

Partiendo de los hallazgos de la neurociencia, podemos imaginar un día en que seamos capaces de utilizar toda clase de medios nuevos e innovadores para mejorar el aprendizaje y la memoria. En el último capítulo, el 12, hacemos conjeturas sobre cómo diversas líneas de investigación están actualmente arrojando luz acerca del modo en que el contexto, que comprende los factores sociales amén de los biológicos, afecta al aprendizaje. ¿Cómo hace el cerebro para guardar recuerdos mientras dormimos? ¿Afecta la dieta al rendimiento a la hora de aprender? ¿Por qué se recuerdan mejor los sucesos emocionales negativos que los no emocionales? ¿Debería el aprendizaje ser recompensado y el no aprendizaje castigado? ¿Podemos concebir una época en la que tomaremos una píldora para mejorar el aprendizaje de cara a un examen?

Por último, si el lector está realmente interesado en el cerebro y las herramientas utilizadas para estudiar la función cerebral, puede consultar el apéndice que hay al final del libro. También incluimos sugerencias para lecturas adicionales y un glosario de términos.

Capítulo 1

CEREBRO Y EDUCACIÓN: TÓPICOS, ERRORES Y NUEVAS VERDADES

Como ha pasado con la naturaleza y la cultura, con frecuencia se ha situado la evolución y la educación en esferas opuestas. Nuestro objetivo aquí es reunirlas. El cerebro ha evolucionado para educar y ser educado, a menudo de manera instintiva y sin esfuerzo. El cerebro es la máquina gracias a la cual se producen todas las formas de aprendizaje: desde las ardillas pequeñas que aprenden a partir nueces, las aves que aprenden a volar o los niños que aprenden a ir en bicicleta y a memorizar horarios hasta los adultos que aprenden un idioma nuevo o a programar el vídeo. Naturalmente, el cerebro es también el mecanismo natural que pone límites en el aprendizaje. Determina lo que puede ser aprendido, cuánto y con qué rapidez.

El conocimiento de cómo aprende el cerebro podría tener, y tendrá, un gran impacto en la educación. Comprender los mecanismos cerebrales que subyacen al aprendizaje y la memoria, así como los efectos de la genética, el entorno, la emoción y la edad en el aprendizaje, podrían transformar las estrategias educativas y permitirnos idear programas que optimizaran el aprendizaje de personas de todas las edades y con las más diversas necesidades. Sólo comprendiendo cómo el cerebro adquiere y conserva información y destrezas seremos capaces de alcanzar los límites de su capacidad para aprender.

Las investigaciones neurocientíficas ya han arrojado mucha luz sobre cómo aprende el cerebro. Ciertos avances tecnológicos recientes han proporcionado a los neurocientíficos una

herramienta asombrosa para descubrir más cosas acerca del funcionamiento del cerebro. Técnicas como las neuroimágenes cerebrales, que miden la actividad del cerebro mientras los individuos realizan una tarea determinada, han elevado considerablemente nuestra comprensión de la mente y el cerebro humanos. Actualmente, los científicos cerebrales pueden brindarnos cierto conocimiento sobre cómo el cerebro aprende información nueva y la maneja a lo largo de la vida.

En los últimos años han empezado a producirse interacciones entre educadores y científicos cerebrales. Una de las autoras pasó tres meses, en la primavera de 2000, trabajando en la POST, (Parliamentary Office of Science and Technology), enviada por su curso de doctorado en neurociencia en el University College de Londres. Las competencias de la POST consisten en procurar a las Cámaras Británicas de los Comunes y de los Lores el oportuno material informativo sobre cuestiones científicas de interés.

Al mismo tiempo, el subcomité sobre la Educación en la Infancia Temprana estaba llevando a cabo una investigación sobre la educación y la atención adecuadas a los niños entre el nacimiento y los seis años de edad. Al subcomité le llovieron cartas, informes y manifiestos desde organizaciones benéficas, escuelas, psicólogos y educadores, todos relacionados con la infancia, muchos de los cuales citaban las investigaciones sobre el desarrollo cerebral como la base para cambiar la educación en la infancia temprana en el Reino Unido. Algunos de los argumentos presentados se contradecían entre sí. Por un lado, unos sostenían que los estudios propiamente dichos no deberían comenzar hasta los seis o siete años porque el cerebro no está preparado para aprender hasta esta edad. Por otro, había quienes afirmaban que, según ciertas investigaciones sobre el desarrollo del cerebro, estaba claro que a los niños había que enseñarles lo más posible lo antes posible. ¿Qué conclusiones iban a sacar los parlamentarios del subcomité sobre estos datos contrapuestos?

Las dos autoras nos hallábamos enfrascadas en estos debates cuando, en junio de 2000, compilamos un informe para que el ESRC, (Economic and Social Research Council) nos indicara si las percepciones de la neurociencia podían inspirar la agenda de las investigaciones en la educación. Lo primero que hicimos fue organizar, a principios de septiembre de 2000, un taller multidisciplinario sobre investigaciones cerebrales y educación. Teniendo en cuenta que se había avisado con poca antelación y que el taller iba a llevarse a cabo en un sábado de finales del verano, pensamos que la asistencia sería escasa. Anunciamos el encuentro en el ámbito local y sólo a las personas que a nuestro juicio tenían un interés específico en el tema, y aun así recibimos más de ciento cuarenta e-mails de personas con ganas de participar: científicos y educadores en igual proporción. Fue un día emocionante y fascinante. La única crítica al taller fue que un día no bastaba. En nuestras discusiones con profesores e investigadores de la educación, quedó claro, con gran sorpresa nuestra, que casi no hay literatura sobre las conexiones entre las ciencias del cerebro y la educación.

De todos modos, actualmente los científicos saben bastante sobre el aprendizaje: cómo se desarrollan las células cerebrales antes y después del nacimiento; cómo aprenden los bebés a ver, oír, hablar y andar; cómo los niños pequeños adquieren un sentido de la moral y del conocimiento social; o cómo el cerebro adulto es capaz de seguir aprendiendo y madurando. Lo que nos asombraba era que, pese a este creciente volumen de conocimientos y su relación con las estrategias educativas, existieran tan pocos vínculos entre las investigaciones cerebrales y las políticas y prácticas educativas.

Una de las principales aportaciones que es capaz de hacer la neurociencia es esclarecer la naturaleza del propio aprendizaje. A pesar de los importantes avances en nuestros conocimientos sobre el aprendizaje y el cerebro, los estudios neurocientíficos todavía no han encontrado una aplicación significativa en la teoría o la práctica de la educación.

¿Y esto por qué? Podría deberse, en parte, a que el conocimiento de cómo se produce el aprendizaje en el cerebro sea difícil de traducir en información valiosa para los interesados en la educación. Sabemos de un científico cerebral al que, tras dar una charla sobre el cerebro a un grupo de educadores, se le dijo que «no tiene sentido enseñar imágenes cerebrales a los profesores; no les interesan».

No creemos que esto sea aplicable a todos los profesores, pero hemos de admitir que actualmente, respecto a la relación de las investigaciones cerebrales con la educación,

hay muy poco material que sea asequible para los no especialistas. Al escribir este libro, nuestro propósito ha sido reducir la brecha que separa las ciencias del cerebro y las de la educación.

Errores comunes acerca de la neurociencia

Existen numerosos obstáculos para el conocimiento interdisciplinar, especialmente la confusión creada por las declaraciones y contradeclaraciones en el campo de las investigaciones cerebrales. Un descubrimiento sobre el cerebro puede ser contradicho sólo meses después por otra investigación. Pero los desacuerdos, los hallazgos y los contrahallazgos forman parte del progreso científico normal y son esenciales a la evolución de nuestro conocimiento del cerebro.

Es muy fácil fomentar los malentendidos sobre neurociencia, aquello en lo que los neurocientíficos están interesados y hasta dónde puede extenderse la neurociencia por lo que se refiere a su aplicación a la educación. Por ejemplo, tomemos la idea generalizada de que realmente utilizamos un escasísimo número de células cerebrales. ¡Sobre esto no hay absolutamente ninguna prueba! Consideremos el porcentaje de cerebro utilizado sólo para tamborilear con un dedo. Como podemos ver en la neuroimagen de la figura 1.1, cuando un dedo da golpecitos se activa una gran parte del cerebro. Si golpeamos con el dedo al tiempo que leemos esto, manteniendo asimismo el equilibrio, la respiración y la temperatura corporal, resulta que está activo casi *todo* el cerebro. Pero no hay por qué preocuparse: el cerebro tiene una admirable capacidad para reorganizarse, y aunque en un momento determinado lo usemos todo, siempre podemos aprender más.

Pero, ¿qué pasa con la señora W., que sufre una lesión cerebral masiva y al parecer lleva una vida perfectamente normal? ¿Demuestra este caso que el cerebro desempeña un papel insignificante en el control de la conducta, que de hecho podríamos prescindir de él? Las contradicciones de este ejemplo son más aparentes que reales. Esta persona con lesión cerebral pone de relieve hechos extraordinarios pero contraintuitivos (aparentemente contrarios al sentido común) sobre el cerebro.

En primer lugar, el caso pone de manifiesto la capacidad de recuperación del cerebro: una pequeñísima proporción de células intactas en una región cerebral, por lo demás dañada, puede bastar para ejecutar una tarea. Estas células pueden iniciar el proceso de reparación. La neurociencia está estudiando cómo es esto posible.

En segundo lugar, el caso demuestra no sólo la posibilidad de compensación sino también sus límites. Puede ser muy bien que a la señora W. no se le hayan efectuado evaluaciones psicológicas exhaustivas. De modo que, a primera vista, quizá parezca que se comporta con normalidad, pero esto puede deberse a que ha aprendido estrategias para compensar cualquier dificultad provocada por su estado. De hecho, si se le hicieran pruebas sobre tareas de sensibilidad apropiadas, probablemente mostraría anomalías. Antes de sufrir la lesión cerebral, era diestra. Ahora con la mano derecha no sería capaz de coger ni siquiera un bolígrafo. Ha aprendido a compensar esto casi perfectamente con la mano izquierda, utilizando exclusivamente ésta para servir el té, agarrar objetos, escribir, etcétera. Es sólo un ejemplo de la necesidad de rigor científico que

FIGURA 1.1. *Utilizamos gran parte del cerebro gran parte del tiempo. En la figura apreciamos que una gran proporción del cerebro está activada durante el sencillo acto de tamborilear con un dedo. Las zonas activadas aparecen en negro.*

hace falta cuando se trata de sacar conclusiones sobre nuestro grado de dependencia de un cerebro que funciona correctamente.

¿Qué hay de la genética?

Durante las últimas décadas, la expansión de las investigaciones genéticas ha puesto de relieve lo importantes que son los genes en la creación del individuo. Es probable que los genes desempeñen un papel importante en el aprendizaje y en las discapacidades para el aprendizaje, cuestión que empieza a ser investigada por distintos grupos de estudiosos del mundo entero. Pensar en las repercusiones educativas de las investigaciones genéticas será una tarea enormemente importante de cara al futuro. El salto del gen a la conducta es mucho mayor que el salto del cerebro a la conducta. Creemos que este salto se podrá llevar a cabo más fácilmente una vez conozcamos las conexiones entre la conducta y el cerebro.

FIGURA 1.2. *Está comenzando la investigación sobre la genética del aprendizaje. ¿Nos cabe en la cabeza que algún día sea posible seleccionar genes para enseñar y aprender?*

La programación genética no basta para que se produzca el desarrollo normal del cerebro. También se requiere la estimulación ambiental. Es un hecho científico que las áreas sensoriales del cerebro sólo pueden desarrollarse cuando el entorno contiene diversos estímulos sensoriales: imágenes, texturas y sonidos. En el próximo capítulo analizaremos esto con mayor detalle. Es verosímil que esto mismo sea cierto para todas las áreas del cerebro, no sólo las sensoriales, y para todas las funciones mentales. Desde mucho antes de nacer, el cerebro está moldeado por influencias ambientales, no sólo por programas genéticos. Tomemos una semilla de bellota, que no puede crecer si no se dan las condiciones adecuadas de luz, agua y nutrientes, por mucho que contenga todo el material genético necesario para llegar a ser un roble inmenso. No tiene sentido discutir qué es más importante, si la naturaleza o la cultura (nutrición), pues para producir una planta viva hacen falta ambas. Asimismo, para el desarrollo normal del cerebro son necesarias tanto la cultura como la naturaleza.

Tenemos otro ejemplo que muestra cómo la naturaleza y la cultura van de la mano. A muchas personas les gusta tumbarse al sol para adquirir un deseable bronceado. La responsable de esto es la melanina; y cuanta más tenga uno, más moreno está. Según los criterios actuales, al menos en Occidente, esto proporciona una imagen de salud y belleza. Imaginemos a una mujer del norte de Europa con la piel muy blanca, a una africana con la piel muy oscura, y a una mediterránea con lo que se conoce como piel aceitunada. Por mucho que tome el sol la nórdica, su piel sólo se quemará, no adquirirá un tono moreno. Aunque la africana evite el sol, su piel no se volverá más clara. Pero en el ejemplo de la mujer de piel aceitunada, apreciaremos que el color de su piel experimenta acusados cambios que guardan correlación directa con el tiempo de exposición al sol. En este caso, los efectos ambientales (exposición al sol) son la observación más destacada; en el caso de las otras mujeres, lo más destacado son los efectos genéticos (producción de melanina). Cuando en ciertos ejemplos se pone de relieve un tipo de efecto, pongamos la naturaleza, ello no implica que el otro efecto, la cultura, deba ser menor.

Trastornos del cerebro en desarrollo

Quizá sería posible pasar por alto el cerebro al hablar de desarrollo normal del niño, pero no al analizar los trastornos del desarrollo. Cuando a lo largo de todo el libro hablamos de trastornos del desarrollo, nos referimos a trastornos producidos por algún ligero defecto en la programación genética que tiene un efecto en el desarrollo cerebral. Ejemplos de ello son el autismo, el trastorno de hiperactividad por déficit de atención (THDA) y la dislexia. Tal vez estos trastornos tengan orígenes sutiles en el cerebro, pero en todo caso pueden tener consecuencias de gran alcance en el desarrollo cognitivo. Se presentan en forma leve a grave y por lo general persisten durante toda la vida. Difieren mucho de las dificultades temporales de, pongamos, la atención o el lenguaje, que pueden aparecer de vez en cuando durante el desarrollo por toda clase de razones.

A veces es difícil diagnosticar un trastorno del desarrollo y distinguirlo de una dificultad temporal. El diagnóstico no depende simplemente de unas cuantas observaciones fortuitas, sino que se obtiene sólo tras una evaluación sistemática del historial de desarrollo del niño. Habida cuenta de que aún no disponemos de marcadores biológicos para la mayoría de los trastornos del desarrollo, el diagnóstico se basa en informes y análisis de la conducta. Ésta no es una cuestión baladí, de modo que se están mejorando continuamente las herramientas de evaluación.

¿Qué ocurre una vez tenemos el diagnóstico? Una conversación casual con un animador juvenil reveló la siguiente ansiedad. A uno de los jóvenes que él supervisaba le habían diagnosticado dislexia. El animador pensó que esto daría al estudiante carta blanca para ser perezoso y no tomarse la molestia de hacer los deberes. Tal como él lo veía, ahora el chico en cuestión podía poner la excusa de que tenía un trastorno neurológico cuando alguien le exigiera un esfuerzo de aprendizaje.

En otra conversación con una mujer de treinta años, ésta nos habló de su gran alivio cuando por fin le diagnosticaron dislexia, sólo después de que su hijo, que estaba experimentando las mismas dificultades que ella cuando niña, hubiera sido visitado por un especialista. Luego se puso en contacto con otras personas que tenían problemas similares y que hasta entonces creían simplemente ser demasiado estúpidas para aprender. Ahora la mujer explica que, desde que recibieron sus respectivos diagnósticos, tanto ella como su hijo han hecho inmensos progresos en la lectura. Reciben una enseñanza compensatoria que no habría sido posible sin el diagnóstico.

Entre el doble peligro de utilizar el diagnóstico como una excusa para desentenderse del aprendizaje y, a la inversa, tener una baja autoestima debido a la falta de explicación de un problema de aprendizaje, la experiencia presenta muchos matices. El valor del diagnóstico depende de la actitud de los individuos y su disposición y motivación para superar las dificultades. En los capítulos 4-7 analizaremos estas cuestiones relativas a los trastornos del desarrollo.

Un vocabulario común

Si las investigaciones sobre el cerebro han de llegar a inspirar la educación, lo que hace falta con más urgencia es un vocabulario común a los investigadores cerebrales y los educadores. Al final del libro hemos incluido un breve glosario de términos. A lo largo del texto utilizamos la palabra *aprendizaje* para abarcar todos los tipos de aprendizaje. Cuando hablamos de *neurociencia* nos referimos a todas las clases de estudios sobre el cerebro. Es decir, incluimos el estudio de las moléculas y las células del cerebro si bien nos concentramos principalmente en los estudios cognitivos y neuropsicológicos. Por *cognición* entendemos todo aquello que haga referencia a la «esfera mental», la cual engloba el pensamiento, la memoria, la atención, el aprendizaje, las actitudes mentales y, de manera importante, las emociones. Si aludimos a *cognición* o *mente*, no pretendemos separarlas del *cerebro*. Creemos que el cerebro y la mente hay que explicarlos juntos.

Las ciencias cerebrales arrojan luz contraintuitiva sobre el aprendizaje

Acaso sea arriesgado sugerir que las investigaciones en el campo de la educación por sí mismas no proporcionan, o no

pueden proporcionar, el mejor enfoque sobre muchas cuestiones educacionales partiendo de sus propios recursos y su pensamiento científico razonado. Igual que nos preguntamos cómo la neurociencia puede inspirar la educación, a menudo tal vez sea útil pensar en cómo las ciencias del cerebro suponen un desafío para las opiniones lógicas sobre la enseñanza y el aprendizaje.

EL CEREBRO PUEDE ACTUAR «A TUS ESPALDAS»

Un tema que viene a la mente, y del que nos ocuparemos en posteriores capítulos, es el de aprender sin ser uno consciente de ello.

FIGURA 1.3. *Los científicos tienen fama de utilizar jerga que sólo entienden otros científicos de la misma especialidad. Esto supone un verdadero obstáculo cuando diferentes disciplinas intentan interaccionar y comprenderse unas a otras. En este libro tratamos de no utilizar demasiada jerga científica. Si es imposible evitar el uso de un término especializado, lo definimos en el glosario.*

¿Sabía el lector que el cerebro puede adquirir información incluso cuando la persona no está prestando atención al hecho ni repara en él? Esta tendencia del cerebro a hacer cosas «a nuestras espaldas» es generalizada y probablemente tenga repercusiones en las teorías sobre el aprendizaje. En el capítulo 10 examinaremos esta capacidad del cerebro para procesar información *implícitamente*.

EL CEREBRO ENVEJECIDO PUEDE APRENDER

Hasta hace relativamente poco, se creía comúnmente que el cerebro adulto era incapaz de cambiar. Entre los científicos cerebrales estaba muy arraigada la suposición de que tras los primeros años de vida el cerebro estaba provisto de todas las células que llegaría a tener, y que la edad adulta representaba una espiral descendente de pérdida de células cerebrales y de deterioro en el aprendizaje, la memoria y la ejecución en general. Sin embargo, las investigaciones están comenzando a poner de manifiesto que esta idea sobre el cerebro es demasiado pesimista: el cerebro adulto es flexible, puede hacer que crezcan células nuevas y establecer nuevas conexiones, al menos en algunas regiones como el hipocampo. Aunque con el tiempo la información nueva se guarda cada vez con menos eficiencia, no existe límite de edad para el aprendizaje.

La *plasticidad* del cerebro —su capacidad para adaptarse continuamente a circunstancias cambiantes— depende fundamentalmente de cuánto se usa. Ciertos estudios sobre plasticidad sugieren que el cerebro está bien armado para aprender durante toda la vida y adaptarse al medio, y que la rehabilitación educacional en la edad adulta es posible amén de una inversión rentable. Por otro lado, las investigaciones también dan a entender que no hay ninguna necesidad biológica de precipitarse y empezar los estudios propiamente dichos cada vez más pronto. Más bien podrían reconsiderarse los inicios tardíos como perfectamente acompasados con el cerebro natural y el desarrollo cognitivo. Naturalmente, el cerebro envejecido se vuelve menos maleable y, como ya experimentan las personas mayores, aprender cosas nuevas requiere más tiempo.

¿Qué hay de la psicología cognitiva?

El diálogo interdisciplinar precisa un mediador para impedir que una disciplina domine sobre las otras. Cuando se trata de un diálogo entre las ciencias cerebrales y la educación, la psicología cognitiva es ideal para este papel. Creemos que el modo más fácil de que las ciencias del cerebro influyan en los estudios sobre la enseñanza y el aprendizaje es a través de la psicología cognitiva.

No obstante, aunque pensamos que la psicología es un mediador importante de las ciencias cerebrales y causa sus propias repercusiones en la educación, tenemos la clara impresión de que ahora es el momento de explorar las consecuencias de las ciencias cerebrales en el campo educativo. En este libro, de vez en cuando aludimos necesariamente a experimentos de psicología cognitiva, pues, en palabras de John Bruer, el crítico más franco y directo de la aplicación prematura de las investigaciones cerebrales a la educación, es la psicología cognitiva la que «salva la distancia» entre la educación y la neurociencia.

De todos modos, el objetivo de este libro es explorar el mundo del cerebro. Así que trataremos de centrarnos en los resultados de las investigaciones cerebrales si bien estableciendo vínculos con los estudios de psicología cognitiva.

Somos muy conscientes de que este libro no constituye un examen exhaustivo de todos los aspectos de las ciencias cerebrales que guardan relación con el aprendizaje: simplemente no podemos abarcarlo todo. En cada capítulo escogemos y nos centramos en unos cuantos estudios seminales que, a nuestro juicio, demuestran el vigor de la disciplina. El lector observará que hemos escrito varias páginas sobre ciertos experimentos, mientras que otros estudios igualmente importantes se mencionan sólo brevemente o no se mencionan siquiera. Esto es así sólo porque hemos tenido que ser selectivos, aparte de que creemos que para el lector es más interesante saber de experimentos recientes que aún no se han divulgado mucho. Lógicamente, a menudo nos extendemos en estudios realizados en nuestro laboratorio o por colegas próximos.

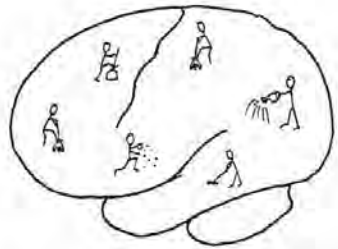


FIGURA 1.4. *Si hablamos de aprendizaje, los profesores se parecen un poco a los jardineros. Igual que éstos, los profesores pueden sembrar semillas en la mente de un alumno, nutrirla y sustentar en ella ideas buenas y hechos importantes, así como arrancar las malas hierbas de los errores y malentendidos. En la figura, la parte frontal del cerebro está en la izquierda.*

Ajardinamiento del cerebro

Los cerebros individuales, como los cuerpos individuales, son distintos entre sí, pero no hay casi nada que no podamos mejorar o cambiar. Si observamos el mundo que nos rodea, vemos muchos ejemplos de cómo la cultura ha potenciado la naturaleza, o la ha superado. Algunos ejemplos que vienen a la memoria son las gafas que mejoran la visión, la nutrición para el crecimiento o los ortodoncistas para los dientes torcidos. Pues con el cerebro pasa igual. Si los ortodoncistas pueden mejorar nuestra dentadura, los profesores pueden mejorar nuestro cerebro.

Podemos considerar la educación como una especie de «ajardinamiento» del cerebro, y en cierto sentido los educadores son como los jardineros. Naturalmente, éstos no pueden cultivar rosas si antes de nada no tienen las raíces y el suelo adecuados, pero un buen jardinero puede hacer maravillas con lo que tenga. Igual que sucede con la jardinería, hay muchas ideas distintas sobre lo que constituye lo más digno de admiración, aparte de que con el tiempo aparecen asimismo distintos estilos y diferencias culturales. No obstante, los jardines individuales requieren sacar el máximo provecho de lo que

hay, siendo posible crear diseños asombrosamente nuevos e influyentes. Como veremos a lo largo del libro, esta analogía ilustrará lo que queremos decir cuando hablamos de moldear el cerebro mediante la enseñanza y el aprendizaje.

¿Cómo funciona el cerebro?

El cerebro es uno de los sistemas más complejos del universo, y aunque estamos comenzando a saber bastante de él, todavía nos falta mucho para llegar a comprender cómo funciona exactamente en su totalidad. Sigue siendo un enigma que miles de científicos de todo el mundo están intentando descifrar. No obstante, sí sabemos algunas cosas (véase figura 1.5).

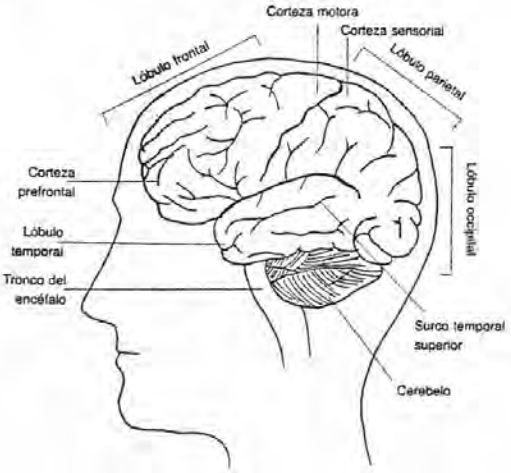


FIGURA 1.5. *Imagen de la superficie del cerebro. El cerebro se divide en cuatro lóbulos: temporal, frontal, parietal y occipital. La capa más externa del cerebro se denomina* corteza.

El cerebro adulto pesa aproximadamente 1,4 kg y contiene unos cien mil millones de células (o *neuronas*; véase fig 1.6). Un número gigantesco. Las neuronas tienen fibras largas y cortas que establecen contacto con los somas de otras neuronas, habiendo en el cerebro más o menos mil billones de conexiones entre las células. Cien mil millones de células es un número colosal, difícil de imaginar. Un millón es mil veces mil; por ejemplo, la población de una ciudad muy grande. Mil millones es mil veces un millón. En el cerebro humano, el número de conexiones es mucho mayor que el total de habitantes del planeta, que son unos seis mil millones.

Al analizar funciones que vengan al caso, como «experimentar miedo», «aprender palabras», «hacer cálculos numéricos» o «imaginar movimiento», nunca hablamos de células nerviosas individuales. En lugar de éstas, las responsables de funciones cognitivas como las citadas son regiones de tejido cerebral que contienen millones de neuronas.

Así, ¿cómo hacen estas cosas las neuronas? Como todas las demás células del cuerpo, las neuronas funcionan como pequeñas baterías. Hay una diferencia de voltaje (casi

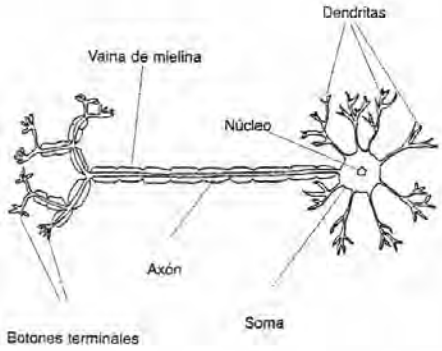


FIGURA 1.6. *Una neurona consta de un soma, un axón y dendritas. El axón de la mayoría de las neuronas está cubierto por una vaina de mielina, la cual acelera la transmisión de impulsos por el axón. Los botones sinápticos de las dendritas son los puntos de contacto con otras neuronas.*

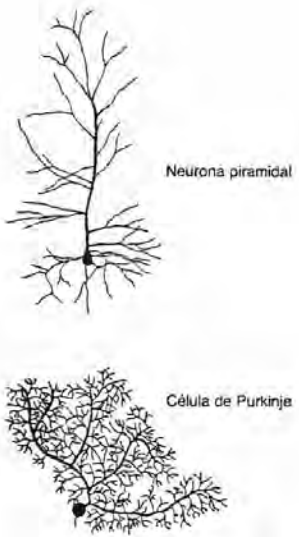


FIGURA 1.7. *En el cerebro hay varias clases de neuronas, entre ellas las neuronas piramidales y las células de Purkinje. Las neuronas piramidales, que al microscopio se ven con forma de pirámide, se hallan en la corteza. Las células de Purkinje, que toman el nombre del científico checo que las descubrió, sólo se encuentran en el cerebelo.*

una décima parte de voltio) entre el interior y el exterior de la célula, siendo el interior más negativo. Cuando una neurona se activa, descarga un impulso, denominado *potencial de acción*. Entonces entran iones sodio a toda prisa por poros de la membrana, invirtiendo brevemente el voltaje a través de la misma. Esto origina la liberación de sustancias químicas (*neurotransmisores*) desde el botón terminal de la neurona. Estas sustancias cruzan el espacio sináptico y son aceptadas por receptores de *dendritas* de otra neurona, lo cual aparece ilustrado en la figura 1.8. Éste es el «lenguaje» del cerebro: los potenciales de acción producen la «actividad» cerebral.

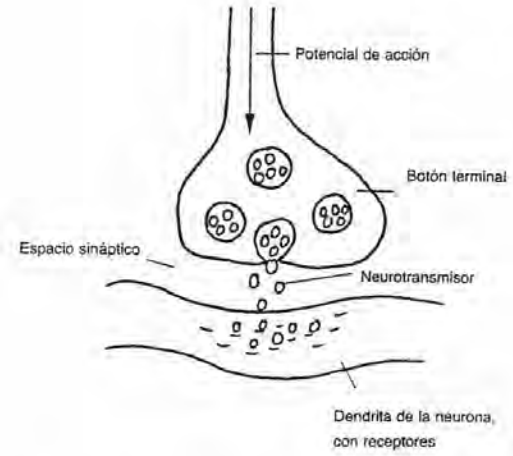


FIGURA 1.8. *Los potenciales de acción son el lenguaje del cerebro. Cuando se activa una neurona, ésta descarga un impulso: un* potencial de acción. *El potencial de acción invierte brevemente el voltaje a través de la membrana, lo que origina la liberación de sustancias químicas* (neurotransmisores) *desde el botón terminal de la neurona. Estas sustancias atraviesan el espacio sináptico y son aceptadas por receptores de* dendritas *de otra neurona.*

Casi toda la información sensorial pasa de un lado del cuerpo al lado contrario del cerebro. Así pues, un contacto en el brazo izquierdo es procesado por el lado derecho del cerebro, y la visión de objetos en el lado derecho de un individuo es enviada a la corteza visual izquierda para ser procesada. Esto es válido para todos los sentidos menos el olfato; también es verdad en el caso del movimiento: la *corteza motora* derecha controla el movimiento del brazo izquierdo. Hay estructuras del cerebro que no están cruzadas de esta forma, como sucede con el cerebelo, el cual, por alguna razón que aún no entendemos del todo, controla el movimiento del *mismo* lado del cuerpo.

¿Cómo estudiamos el cerebro?

Aquí ofrecemos sólo una breve muestra de los tipos de técnicas utilizadas para estudiar el cerebro. Si el lector quiere profundizar en la cuestión, puede acudir al apéndice del final del libro, en el que exploramos con detalle las distintas técnicas que se usan actualmente en las investigaciones cerebrales.

Actualmente, para estudiar el cerebro pueden utilizarse diversas herramientas. En los estudios de *electrofisiología* se toman registros de neuronas individuales del cerebro de animales mientras éstos llevan a cabo una determinada tarea. Esta técnica procura una medida directa de la actividad neuronal. La medición de la actividad neuronal en los seres humanos es difícil, y los estudios que toman registros de neuronas del cerebro humano (por ejemplo, durante una intervención quirúrgica a cráneo abierto) son muy infrecuentes. De todos modos, este tipo de estudios asombran por la profusión de detalles que revelan sobre recuerdos y acciones a los que se accede mediante el mero «contacto» de una determinada parte diminuta de la superficie del cerebro.

Por suerte, para evaluar la actividad eléctrica en los seres humanos existen diversos métodos no invasivos relacionados con la conducta de miles o millones de neuronas conectadas entre sí en regiones cerebrales concretas. La *electroencefalografía* (*EEG*) y la *magnetoencefalografía* (*MEG*) miden respectivamente la actividad eléctrica y magnética que se produce en el cerebro. Los registros se llevan a cabo mediante electrodos colocados en el cráneo.

El flujo sanguíneo es un indicador de la actividad cerebral y puede medirse con técnicas de neuroimágenes. La sangre fluye a regiones del cerebro en las que la actividad neuronal es máxima y que requieren un reabastecimiento de oxígeno y glucosa. La *tomografía de emisión de positrones* (*TEP*) y la *resonancia magnética funcional* (*RMf*) detectan cambios en el flujo sanguíneo. Los registros se realizan en escáneres cerebrales especiales.

Los estudios neuropsicológicos se ocupan de las consecuencias conductuales de las lesiones cerebrales, por lo que nos proporcionan una indicación de las funciones asumidas normalmente por una determinada región cerebral. Actualmente hay también un método para estudiar los efectos de una alteración temporal del cerebro: una técnica denominada *estimulación magnética transcraneana* (*EMT*).

Capítulo 2

EL CEREBRO EN DESARROLLO

¿Qué cambia en el cerebro durante el desarrollo?

El cerebro humano adulto contiene unos cien mil millones de células (*neuronas*); al nacer, el cerebro tiene un número de neuronas singularmente similar al del cerebro adulto. Casi todas las neuronas del cerebro se generan mucho antes de nacer: sobre todo durante los tres primeros meses del embarazo. La generación de neuronas recibe el nombre de *neurogénesis*. Se trata de un proceso complejo que comienza con la división de *células progenitoras*, las proveedoras de todas las células nuevas del cerebro. Esta división da origen a otras células progenitoras, o a neuronas, o a células de soporte conocidas como *glía*. Para madurar y sobrevivir, las neuronas deben emigrar de las células progenitoras. Tras la migración, sólo sobreviven la mitad mientras que las demás mueren. Se generan muchas más células cerebrales de las necesarias. Sólo sobreviven las que establecen conexiones activas con otras neuronas.

Un bebé humano nace con casi todas las células cerebrales que llegará a tener salvo en lo que se refiere al cerebelo y al hipocampo, donde el número de células aumenta notablemente después del nacimiento. Durante el desarrollo, el cerebro experimenta varias oleadas de reorganización. No son las propias neuronas las que cambian, sino el «cableado» existente entre ellas. El cableado es la intrincada red de conexiones entre las células (las *dendritas* y las *sinapsis*, véase fig 2.1). Las fibras cortas conectan neuronas próximas entre sí y las fibras largas pueden conectar neuronas muy alejadas.

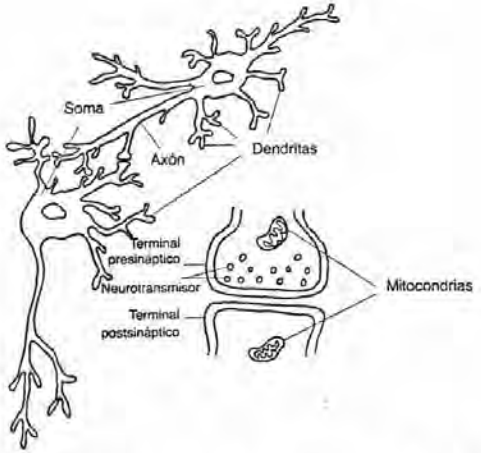


FIGURA 2.1. *La sinapsis es la unión de dos neuronas. El axón de una neurona se conecta con los botones terminales de una segunda neurona. Cuando se produce un impulso nervioso* (potencial de acción) *en la primera neurona, desde el terminal axónico se liberan* neurotransmisores *que son aceptados por los receptores de las espinas dendríticas de la segunda neurona.*

Durante el primer año de vida, el cerebro humano cambia de manera realmente espectacular. Poco después del nacimiento, el número de conexiones entre las células cerebrales comienza a aumentar rápidamente, tanto que el número de conexiones del cerebro de un bebé supera en mucho los niveles adultos. Hay que reducir en gran medida este exceso de conexiones, reducción, o *poda*, que es una parte del desarrollo tan importante como pueda serlo el crecimiento inicial de conexiones.

En los últimos cincuenta años se han hecho muchos descubrimientos sobre cómo se desarrolla el cerebro en los animales jóvenes, siendo buena parte de este conocimiento también aplicable al cerebro de los seres humanos, si bien son todavía escasas las observaciones directas del cerebro humano en desarrollo. De todos modos, los estudios sobre el desarrollo del cerebro durante los primeros años de vida ya han empezado a desempeñar un papel en los debates sobre las políticas educativas.

¿Tres años es demasiado tarde? El debate sobre la educación en los primeros años

En abril de 1996, la Casa Blanca convocó una conferencia de prensa sobre desarrollo temprano del niño en la que Hillary Clinton hizo referencia a las investigaciones sobre el desarrollo del cerebro. Clinton afirmó que «ahora sabemos mucho más de lo que sabíamos hace unos años sobre cómo se desarrolla el cerebro humano y qué necesitan los niños del entorno para desarrollar la personalidad, la empatía y la inteligencia». Citó estudios según los cuales el medio afecta al desarrollo cerebral en fases tempranas de la vida para evidenciar la importancia que tienen ciertos tipos de estimulación ambiental en los tres primeros años de vida de un niño. Clinton aseguró que «las experiencias [entre el nacimiento y los tres años] pueden determinar si los niños crecerán para ser ciudadanos pacíficos o violentos, trabajadores comprometidos o indisciplinados, padres atentos o indiferentes...». Pidió a los médicos de los EE.UU. que animaran a los padres a leerles a sus hijos pequeños y exigió una mayor inversión en los niños de edades inferiores a los tres años.

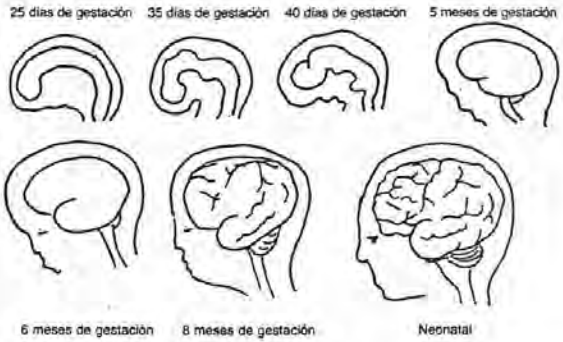


FIGURA 2.2. *Casi todas las neuronas del cerebro se generan mucho antes del nacimiento, sobre todo en los tres primeros meses de embarazo. Después del nacimiento, el cerebro cambia de manera espectacular, principalmente en lo que se refiere al número de* sinapsis.

Algunas guarderías de los EE.UU. han empezado a estructurar sus currículos en torno a la idea de enriquecer la experiencia de los niños pequeños. En ciertos parvularios americanos, actualmente la jornada escolar de los niños de dos y tres años está atiborrada de información sensorial. Según uno de estos centros situado en Oregón, cada actividad está «concebida para estimular un área clave del cerebro del niño». Diversos grupos educacionales de los EE.UU. han ido aún más lejos, sugiriendo que los niños tendrían que empezar a estudiar idiomas, matemáticas avanzadas, lógica y música lo antes posible, y que el entorno del bebé debería ser enriquecido para lograr un desarrollo cerebral óptimo.

En Gran Bretaña, el debate sobre la educación en los primeros años también ha comenzado a centrarse en el desarrollo cerebral. En 2000, se pidió al Subcomité de la Cámara de los Comunes para la Educación en la Infancia Temprana que examinara varios aspectos de la educación en los primeros años, es decir, la educación y la atención a los niños entre el nacimiento y los seis años de edad. Estre estos aspectos se incluían el contenido adecuado de la educación temprana, el modo en que debería llevarse a cabo la enseñanza pre-escolar, el modo en que habría que evaluar el aprendizaje y la enseñanza pre-escolar, y a qué edad tendrían que empezar los estudios propiamente dichos.

Se trata de cuestiones controvertidas, pues las escuelas de enseñanza primaria del Reino Unido admiten niños en el curso en que cumplen cinco años, es decir, antes que en muchos otros países europeos, donde no comienzan la educación formal hasta los seis o siete años. En estos países, desde los tres años hasta que empiezan a ir a la escuela, los niños generalmente van al jardín de infancia, donde se estimula el desarrollo de destrezas emocionales, sociales y cognitivas en general, principalmente mediante juegos.

En 1999, el gobierno británico presentó sus Objetivos del Aprendizaje Temprano para la educación de los niños de tres años hasta el final de su primer curso escolar. En el plan se esbozaban las expectativas de que los niños de pre-escolar desarrollaran habilidades sociales, físicas e intelectuales. La introducción de los Objetivos del Aprendizaje Temprano provocó una fuerte reacción. Según diversos informes prominentes aparecidos en los medios de comunicación británicos, para los

FIGURA 2.3. *Hay personas que se muestran a favor de «colocar a sus hijos en invernaderos», donde se usen tarjetas ilustrativas, vídeos y otros materiales audiovisuales para enseñarles destrezas académicas como lectura, lógica y matemáticas.*

niños en edad pre-escolar la implantación de objetivos estrictos era algo excesivo.

A la inversa, otros grupos sostenían que los Objetivos de Aprendizaje Temprano se quedaban cortos. Partiendo de los argumentos descritos antes, que surgieron en los EE.UU. en la década de 1990, estos grupos sugerían que la edad crítica para el aprendizaje se halla entre el nacimiento y los tres años, y que los niños debían ser «colocados en invernaderos» durante los primeros años de su vida para que tuviera lugar un aprendizaje óptimo. «Colocar en invernaderos» significa enseñar a los niños destrezas académicas como lectura, lógica y matemáticas utilizando tarjetas ilustrativas, vídeos y otros materiales audiovisuales.

¿Las investigaciones cerebrales proporcionan alguna respuesta?

A ambos lados del Atlántico, los argumentos a favor de un inicio temprano de la educación a menudo se han funda-

mentado en tres hallazgos importantes de la neurobiología del desarrollo, basados en investigaciones con animales. Primero, en la primera infancia se producen incrementos espectaculares en el número de conexiones entre las células cerebrales. Segundo, existen *períodos críticos* en que la experiencia determina el desarrollo del cerebro. Tercero, los *entornos enriquecidos* ocasionan en el cerebro la formación de más conexiones que los entornos empobrecidos.

En realidad, la imagen neurobiológica del desarrollo cerebral es más compleja. En este capítulo describimos algunos de los estudios que han dado lugar a los tres hallazgos citados, así como estudios posteriores que han clarificado y se han extendido sobre los descubrimientos anteriores. Es importante saber acerca de estas investigaciones, pues nos explican por qué hasta ahora no ha habido conclusiones simples. Muchos neurocientíficos ponen en duda que sepamos lo suficiente sobre el cerebro en desarrollo para vincular este conocimiento directamente a la instrucción y la práctica educacional.

Primer argumento: conexiones cerebrales en la primera infancia

Desde muy pronto en el desarrollo posnatal, el cerebro empieza a formar conexiones nuevas (sinapsis, véase figura 2.1), de modo que aumenta muchísimo la *densidad sináptica* (número de sinapsis por unidad de volumen de tejido cerebral). El crecimiento de dendritas en las células nerviosas y la aparición rápida de sinapsis a lo largo de las mismas puede compararse con el vigoroso crecimiento de las plantas en primavera. En el cerebro, este proceso, denominado *sinaptogénesis*, dura un cierto tiempo, dependiendo las distintas duraciones de la especie del animal. El proceso va seguido por un período de *poda sináptica* en el que las conexiones usadas con mucha frecuencia resultan reforzadas y las usadas con poca frecuencia son eliminadas. También podemos comparar esto con la poda necesaria tras el habitual crecimiento de las plantas en el jardín. Si no lo hiciéramos, éstas podrían muy bien acabar asfixiadas.

La primera demostración de la sinaptogénesis se produjo en 1975, cuando se observó que, en el sistema visual, el número de sinapsis por neurona primero aumenta rápidamente y a continuación disminuye poco a poco hasta niveles de madurez. Esta investigación se llevó a cabo con gatos. Estudios adicionales realizados con monos pusieron de manifiesto que las densidades sinápticas alcanzan los niveles máximos entre dos y cuatro meses después del nacimiento, tras el cual comienza la poda. Las densidades sinápticas bajan gradualmente hasta niveles adultos en torno a los tres años, aproximadamente la edad en que los monos llegan a la madurez sexual. Este proceso, que se produce a lo largo de un período de años, reduce la densidad sináptica global a los niveles adultos.

En las primeras etapas del desarrollo hay también una primera oleada de proliferación y crecimiento espectacular de fibras nerviosas y conexiones de gran alcance entre las células nerviosas. Además de esto, las largas extensiones (los axones, véase figura 1.6) de cada célula nerviosa comienzan a cubrirse de una capa de *mielina*, que actúa como aislante y acelera el movimiento de los impulsos eléctricos por la neurona. Este es un proceso clave del desarrollo cerebral porque incrementa enormemente la velocidad de las señales que se desplazan entre las neuronas. No obstante, aunque todos estos procesos se producen en fases tempranas del desarrollo, quizá el aspecto más estudiado del mismo sea el número de sinapsis.

Así pues, cuando nace un bebé, sus conexiones cerebrales comienzan a crecer y a cambiar. Qué conexiones sobreviven y crecen y cuáles se desvanecen y mueren viene determinado en parte por los genes que el bebé hereda de sus padres y en parte por sus experiencias tempranas. En consecuencia, ¿deberían los bebés ser expuestos a cuantas experiencias de aprendizaje fuera posible durante estas fases tempranas?

No forzosamente. Se supone que el curso temporal de la sinaptogénesis y la poda es el mismo en los seres humanos y en los monos, en los que efectivamente tiene lugar durante los tres primeros años. De todos modos, dado que el desarrollo de los monos es mucho más rápido que el de los seres humanos y su infancia mucho más corta, es probable que el período de crecimiento rápido en el desarrollo cerebral de los seres humanos sea bastante más largo que en los monos. A los tres años los monos son sexualmente maduros, por lo que esta edad puede equivaler aproximadamente a los doce o trece años de los seres humanos.

Todas las investigaciones examinadas hasta ahora se han realizado con cerebros de animales. ¿Qué hay del desarrollo del cerebro humano? Por desgracia, no existen muchos estudios sobre dicho desarrollo al basarse principalmente en cerebros de cadáveres a los que se ha realizado la autopsia. La mayoría de los datos acerca del desarrollo del cerebro humano proceden de la *corteza visual* humana, un área grande ubicada en la parte posterior del cerebro que interpreta los estímulos visuales que entran por los ojos (véase figura 2.4). En esta área, se produce un rápido incremento en el número de conexiones sinápticas en torno a los dos o tres meses de edad, el cual alcanza su valor máximo a los ocho o diez meses. Después hay una disminución continua de la densidad sináptica hasta que se estabiliza alrededor de los diez años, permaneciendo en este nivel a lo largo de toda la vida adulta (véase figura 2.5).

En la *corteza frontal* humana (figura 2.4) —el área cerebral encargada de planear acciones, seleccionar e inhibir respuestas, controlar emociones y tomar decisiones—, la sinaptogénesis tiene lugar más tarde y el proceso de poda tarda mucho más que en la corteza visual. En esta área, el desarrollo neuronal prosigue a lo largo de la adolescencia: las densidades sinápticas comienzan a disminuir durante la etapa adolescente y no alcanzan los niveles adultos hasta, al menos, los dieciocho años (véase figura 2.5 y capítulo 8).

¿Recuerda el lector las vainas de mielina que cubren los axones de las neuronas y aceleran las señales que se desplazan por las fibras nerviosas (figura 1.6)? Este proceso de adición de mielina a los axones prosigue durante décadas en algunas áreas cerebrales, en particular en los lóbulos frontales. El proceso continúa bien entrada la adolescencia y la veintena, como comprobaremos en el capítulo 8.

DESARROLLO EN EL PRIMER AÑO DE VIDA

Se han realizado estudios psicológicos con niños pequeños para analizar las destrezas y la conducta que se desarrollan al mismo tiempo que la sinaptogénesis. Cuando empiezan a proliferar las conexiones en la corteza visual, alrededor de los dos

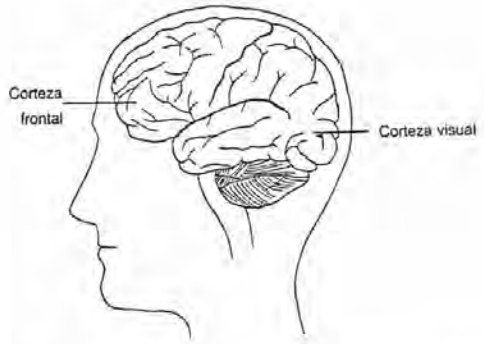


FIGURA 2.4. *La mayoría de las investigaciones acerca del desarrollo del cerebro tienen su origen en estudios sobre el desarrollo de la corteza visual en animales. Se sabe mucho menos sobre cómo se desarrolla la corteza frontal. En los seres humanos, esta es la parte del cerebro responsable de planificar acciones, seleccionar e inhibir respuestas, controlar emociones y tomar decisiones.*

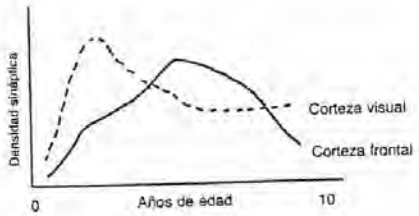


FIGURA 2.5. *La sinaptogénesis, o proliferación de sinapsis, tiene lugar en los primeros meses de vida, tras lo cual las sinapsis experimentan una poda de modo que las densidades sinápticas disminuyen gradualmente. En la corteza visual humana, las densidades sinápticas disminuyen poco a poco hasta llegar a niveles adultos mucho antes de que se alcancen densidades sinápticas adultas en la corteza frontal humana.* Fuente: adaptado de Huttenlocher & Dabholkar. *Journal of Comparative Neurology* 1997; 387(2): 167-178. Copyright © 1997 de John Wiley. Reimpreso con autorización de John Wiley & Sons, Inc.

meses de edad, los bebés humanos empiezan a perder algunos de sus innatos reflejos infantiles. A los tres meses de edad, los pequeños pueden coger un objeto a la vez que fijan la atención visual en él. Cuando tienen cuatro o cinco meses, se incrementan sus capacidades visuales: pueden detectar y distinguir objetos por el color o los bordes y si estos se están moviendo o no. Con ocho meses, los niños muestran por primera vez capacidad para ejecutar tareas de memoria visual, como las de respuesta demorada. En estas tareas, se oculta un objeto a la visión del niño, y tras una cierta demora, se permite a éste coger el objeto. La memoria de objetos ocultos mejora apreciablemente entre los ocho y los doce meses.

Aunque la aparición de estas capacidades coincide con la reorganización de la corteza visual, quizá no sean *ocasionadas* necesariamente por estos cambios. Los aumentos en la densidad sináptica se producen al mismo tiempo que la aparición inicial de algunas destrezas y facultades, si bien estas siguen mejorando después de que se hayan reducido las densidades mediante la poda. Así pues, la sinaptogénesis acaso esté relacionada con la aparición inicial de algunas capacidades, pero no puede explicar su perfeccionamiento continuado.

Segundo argumento: períodos críticos en el desarrollo cerebral

Los investigadores saben desde hace treinta años que un animal requiere ciertos tipos de estimulación ambiental en momentos específicos —un *período crítico*— durante su desarrollo para que se formen con normalidad los sistemas sensoriales y motores del cerebro.

Para investigar el modo en que las neuronas son capaces de adaptar su función a la demanda, en la década de 1960 Torsten Wiesel y David Hubel, de la Universidad de Harvard, llevaron a cabo una serie de innovadores estudios por los que más adelante recibieron el premio Nobel. Estos científicos se preguntaban qué pasaría en el cerebro de un animal recién nacido (en este caso, los animales en cuestión eran gatos) si se le tapaba temporalmente un ojo impidiendo con ello que viera.

Al cabo de aproximadamente tres meses se destapó el ojo, y los investigadores estudiaron las conexiones entre los dos ojos y el cerebro. Los resultados fueron sorprendentes. La privación visual temprana dio origen a un deterioro grave de las conexiones neuronales en las áreas visuales cerebrales del ojo tapado. Además, prácticamente causó ceguera en este ojo. Ello se debía a que el cerebro no había recibido ninguna estimulación procedente del ojo mermado y se había cableado a sí mismo para recibir información sólo del otro ojo, del abierto. Incluso meses después de haberlo destapado, los gatos seguían sin ver con el ojo inicialmente mermado. En comparación, en gatos plenamente desarrollados, los mismos períodos, o más largos, de privación visual completa no tenían estos efectos en el sistema visual ni en la capacidad de los animales de usar el ojo mermado para guiar su conducta cuando éste se destapara posteriormente.

Estas investigaciones se han repetido muchas veces, por lo que se acepta que deben producirse ciertas experiencias sensoriales a determinada edad para que se desarrollen de manera óptima las correspondientes áreas sensoriales del cerebro. Se citan a menudo las consecuencias irreversibles de la privación visual temprana para avalar la importancia de la educación en las primeras etapas de la infancia. Se han utilizado los hallazgos de las investigaciones para sugerir que a cierta edad deben producirse ciertas experiencias de aprendizaje, de lo contrario el cerebro no se desarrollará como es debido y será imposible que el niño adquiera jamás las facultades o destrezas pertinentes.

De todos modos, aquí no acaba la historia. Investigaciones adicionales de Hubel y Wiesel y otros científicos han sugerido que es posible recuperar parte de la función, según sea el período específico de la privación y las circunstancias posteriores a la misma. Cuanto más corto sea el período de privación, más recuperación de la función se podrá conseguir. Esto se puede incrementar si se enseña al animal a utilizar el ojo inicialmente mermado tras destaparlo. Aunque habría que experimentar cierta estimulación sensorial antes de determinada edad para un desarrollo óptimo del cerebro, en caso de que esto no sea posible el entrenamiento y la estimulación rehabilitadora en una edad posterior pueden permitir cierto nivel de recuperación en la correspondiente área cerebral.

Actualmente, la mayoría de los neurocientíficos creen que los períodos críticos no son rígidos ni inflexibles. Los interpretan si acaso como *períodos sensibles* que comprenden cambios sutiles en la susceptibilidad del cerebro de ser moldeado y modificado por experiencias que se producen a lo largo de la vida. Para que algunas funciones se configuren normalmente, el animal debe recibir del entorno un input sensorial adecuado en una determinada fase del desarrollo. No obstante, el input apropiado no tiene por qué ser en ningún modo complejo. Tiende más bien a ser básico y general, y en los entornos normales es fácil de obtener. Por ejemplo, la presencia de objetos, sonidos y estímulos visuales de colores y con dibujos constituyen una estimulación suficiente para las cortezas sensoriales en desarrollo del cerebro humano. Lo que es especialmente importante en el caso de los niños pequeños es la interacción con otros seres humanos, y ahí incluimos el lenguaje y la comunicación.

DESTREZAS SENSORIALES AL NACER EN LOS BEBÉS HUMANOS

Los bebés humanos nacen con ciertas capacidades sensoriales, por ejemplo una audición y una visión básicas, que se perfeccionan y desarrollan durante la infancia. El sistema visual del cerebro está parcialmente armado al nacer, pero sigue desarrollándose a lo largo de los primeros años de vida.

Al nacer, los bebés saben distinguir entre distintas formas visuales —los recién nacidos se aburren y desvían la mirada si durante un rato se les ha mostrado el mismo estímulo visual, y sólo vuelven a mirar si se les presenta un estímulo visual nuevo—. Los bebés nacen con una capacidad muy básica, pero impresionante, para reconocer caras. Al nacer, parece que el cerebro está provisto de cierta información sobre cómo ha de ser una cara. Los recién nacidos prefieren mirar dibujos de caras enteras antes que dibujos de caras cuyos rasgos han sido «mezclados». Pocos días después de nacer, los bebés aprenden a reconocer el rostro de su madre —miran más rato una imagen de la cara de su madre que la de una cara desconocida.

Esta extraordinaria capacidad temprana para reconocer rostros seguramente está controlada por vías cerebrales distintas de las implicadas en el reconocimiento posterior, más perfeccionado. John Morton y Mark Johnson, de la Universidad de Londres, han sugerido que el reconocimiento temprano de caras tal vez haya evolucionado, pues origina («se graba en la memoria») un vínculo automático de los recién nacidos con las personas que ven más a menudo.

Este reconocimiento temprano de caras depende de estructuras *subcorticales* (o sea, situadas debajo de la *corteza cerebral*) como el *colículo superior*. Las estructuras subcorticales forman parte de una vía del cerebro que nos permite efectuar movimientos rapidísimos y de manera automática partiendo de lo que vemos. Compartimos con muchos otros animales estas capacidades, que se desarrollan en etapas muy tempranas porque son enormemente importantes. Del mismo modo que los polluelos llevan a su madre «grabada en la memoria» y la siguen automáticamente dondequiera que vaya, es útil también para los bebés recién nacidos que se les quede grabada la cara de aquellos a quienes ven más. Sólo a partir de los dos o tres meses comienzan las regiones corticales cerebrales de los *lóbulos temporales* y *occipitales* a encargarse de la capacidad de un bebé para reconocer caras.

El sistema *auditivo* del cerebro también está parcialmente desarrollado al nacer. Los bebés recién nacidos saben distinguir sonidos y son sensibles al ritmo, la entonación y los componentes sonoros del habla. Ciertas investigaciones con bebés prematuros han revelado que, en el último trimestre de su vida fetal, estos son sensibles a sonidos del habla. A esta tempranísima edad pueden discriminar entre voces masculinas y femeninas. Los bebés de dos días tras un embarazo a término saben distinguir entre su propia lengua y una lengua extranjera. Los de tres días reconocen la voz de su madre: prefieren oír la voz de su madre antes que una voz desconocida. Estas facultades excepcionalmente tempranas seguramente han sacado provecho de los sonidos apagados, aunque audibles, que el bebé ha oído en el útero.

PERÍODOS SENSIBLES Y PUESTA A PUNTO EN EL CEREBRO DE LOS BEBÉS

Olivier Pascalis, de la Universidad de Shefield, y Michelle de Haan, de la Universidad de Londres, llevaron a cabo un interesante estudio sobre capacidad temprana de reconocimiento de caras. El estudio puso de manifiesto que, entre los seis y los nueve meses de edad, las capacidades del bebé para percibir diferencias individuales en los rostros se *ponen a punto*, se *ajustan*. Los bebés que aún no tienen seis meses son muy hábiles a la hora de discriminar entre toda clase de caras: pueden incluso ver las diferencias entre caras de monos, que para los adultos son muy parecidas y resultan difíciles de distinguir. Sin embargo, a partir de los seis meses, esta capacidad se deteriora hasta que poco a poco los bebés van mostrándose menos habilidosos en la tarea de discriminar entre caras de monos, aunque siguen distinguiendo bien las humanas. Esto es útil, pues en el mundo del bebé hay muy pocas caras de monos pero montones de rostros humanos. Es mucho más importante ser capaz de distinguir entre cosas que son comunes en nuestro entorno que entre cosas con las que difícilmente vamos a encontrarnos.

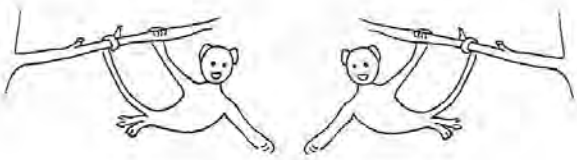


FIGURA 2.6. *Para nosotros es difícil apreciar la diferencia entre caras de especies diferentes, como en el caso de los monos. Los bebés son capaces de ver la diferencia entre caras de monos distintas, facultad que pierden aproximadamente a partir de los seis meses.*

Durante este mismo período, también se ajusta la capacidad de los bebés para percibir diferencias minúsculas en los patrones del habla de su propia lengua. Pero el ajuste tiene un precio; en ambas modalidades, visión y audición, supone un cierto grado de pérdida: los bebés pierden paulatinamente la facultad de discriminar entre caras que no son de su misma especie y entre sonidos que no pertenecen a su lengua. Es un precio que bien merece la pena, pues ello da como resultado la precisión y la asombrosa velocidad del cerebro cuando se trata de reconocer a otras personas que hay alrededor y lo que dicen. Lo que los científicos aún no saben es si la puesta a punto se produce sólo durante un intervalo breve.

¿Qué pasa si el ajuste no puede producirse entre los seis y los nueve meses? Este sería el caso si el niño fuera incapaz de ver u oír. Los niños privados de input sensorial durante este período, ¿alcanzarán la misma eficacia?

¿QUÉ PASA CUANDO NO PUEDE PRODUCIRSE APRENDIZAJE DURANTE PERÍODOS SENSIBLES?

De vez en cuando nacen bebés con cataratas, lo que origina ceguera. Pero en ciertos casos puede realizarse una intervención quirúrgica para recuperar la visión. Estos ejemplos pueden ayudarnos a comprender mejor la importancia de la estimulación visual en etapas tempranas de la vida. Daphne Maurer, de Canadá, llevó a cabo una serie de estudios excepcionales con bebés operados de cararatas. Había que responder a una pregunta muy práctica: ¿Debía hacerse la operación lo antes posible o más adelante, cuando hubiera menos riesgo médico para el bebé? En sus trabajos iniciales, Maurer observó que incluso cuando se realizaba la operación a los nueve meses de edad, y había por tanto nueve meses de privación visual, la visión se desarrollaba rápidamente. En algunos casos, con una hora de estimulación visual bastaba para lograr un gran aumento de agudeza visual.

De todos modos, la falta de ajuste, que normalmente se producía en los nueve primeros meses pero en los citados casos no pudo producirse, ¿causaba algún problema? La falta de experiencia temprana tenía consecuencias leves pero permanentes. Sólo se apreciaban cuando se estudiaban más adelante,

a los nueve años, determinados aspectos de la percepción visual. Los niños que habían sido operados experimentaban sutiles dificultades reveladoras de que su percepción de las caras no era del todo normal. Sabían distinguir entre rostros diferentes, pero no entre rostros que diferían sólo en la disposición de sus rasgos, una tarea fácil para los niños que no habían sufrido privación visual. Esto se cumplía incluso en los niños operados de cataratas a una edad temprana y cuya privación visual había sido relativamente breve, esto es, entre dos y seis meses.

Así pues, estas investigaciones indican que, aunque es posible desarrollar capacidades sensoriales incluso después del período sensible, las destrezas que se adquieren después del mismo son ligeramente distintas y tal vez se basan en estrategias y vías cerebrales diferentes de las que se habrían adquirido durante el período sensible.

LOS PERÍODOS SENSIBLES, ¿LIMITAN LA CAPACIDAD PARA APRENDER?

Las investigaciones analizadas en este capítulo revelan que el cerebro experimenta un desarrollo rápido poco después del nacimiento y a lo largo de la infancia temprana y tiene períodos sensibles para el aprendizaje. Las preferencias por estímulos importantes, como las caras, se establecen en fases tempranas, de modo que son posibles discriminaciones muy ajustadas para estímulos que se presentan con mucha frecuencia en el entorno inmediato. Al mismo tiempo, parece disminuir la facultad para discriminar entre estímulos que tienen lugar con muy poca frecuencia. ¿Por qué?

Pensemos en una lavadora adaptable que, en principio, puede lavar toda clase de tejidos y colores y con toda clase de agua y de detergentes. Naturalmente, pulsar todos los botones de control para cubrir todas las eventualidades de cantidad y calidad de agua y detergente es algo bastante laborioso. Imaginemos que, tras un determinado número de coladas, la máquina se ha habituado a una serie concreta de condiciones. Ahora la lavadora tiene ciertas «preferencias» disponibles y puede reducir el número posible de combinaciones. Esto supone una pérdida de la casi ilimitada flexibilidad inicial, pero

también un aumento de eficacia. Habrá menos fuentes de error y una programación más rápida. Creemos que los propietarios de la máquina estarán complacidos con este avance y llamarán a esto aprendizaje. ¿Pero qué ocurre si se mudan a otra casa, si, por ejemplo, van a vivir a un sitio donde el agua es mucho más dura? Como la máquina es tan lista, aprenderá de nuevo. Pero quizá después de todo es algo estúpida, pues los ingenieros han decidido que ha de ser puesta a cero para volver a funcionar otra vez, con lo que el aprendizaje anterior quedará borrado. En esto difiere del cerebro. En el cerebro, el aprendizaje anterior puede resultar muy útil.

VENTANAS CON CIERRE AUTOMÁTICO

Los períodos sensibles se han comparado a menudo con una ventana para el aprendizaje, que se cierra de golpe tras un cierto intervalo crítico del desarrollo. Las ventanas para el aprendizaje rápido existen, pero la propia experiencia las cie-

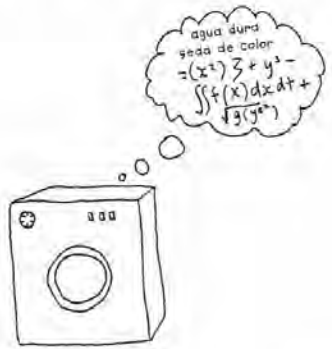


FIGURA 2.7. *El ajuste natural de las capacidades de percepción se parece un poco a una lavadora inteligente que aprende a adaptarse a ciertos lavados preferidos y usados con mucha frecuencia. Aunque esto en última instancia la vuelve menos flexible, también hace que sea más eficaz y menos propensa a los errores. En lo referente al cerebro, la afinación de ciertas distinciones y la pérdida de otras es útil para el necesario procesamiento rápido de estímulos importantes.*

rra. Esto es útil. Al principio es posible distinguir un amplio surtido de toda clase de caras y voces, pero más adelante algunas de estas distinciones se vuelven menos pertinentes y se «pierden». Quizá no sean irrecuperables, y si es preciso tal vez se pueda producir un reaprendizaje posterior. La afinación de ciertas distinciones y la pérdida de otras es útil para el necesario procesamiento rápido de estímulos importantes. No tiene sentido esperar que suceda cualquier cosa: esto daría lugar a una sobrecarga de estimulaciones, a una mayor lentitud y a un incremento de la probabilidad de errores. En cambio, es necesario identificar los estímulos importantes, y rápido.

¿Es triste la imagen de la ventana que se cierra? No tiene por qué. No podemos rehuir el hecho de que tenemos una capacidad limitada para el aprendizaje nuevo, por lo que hemos de dosificar los recursos. Aprender cosas nuevas significa abrir y formar conexiones neurales para sucesos importantes y cerrar otros que ya no lo son y que sólo distraerían y confundirían.

MÁS ALLÁ DEL DESARROLLO SENSORIAL

Hasta ahora hemos hablado sólo del desarrollo de destrezas sensoriales. Ello se debe simplemente a que este es el único aspecto del desarrollo cerebral que se ha estudiado de forma detallada. Se sabe poco sobre si se requieren determinadas experiencias para el desarrollo de destrezas no sensoriales y las correspondientes áreas cerebrales. Se ignora si existen períodos sensibles para sistemas de conocimientos transmitidos culturalmente, como los responsables de la lectura y el cálculo aritmético. Hay pruebas de que existen varios períodos sensibles para el desarrollo del lenguaje. Por contraste, se aprenden palabras nuevas y se incrementa el vocabulario durante toda la vida, no habiéndose descubierto todavía ningún período sensible para el aprendizaje de vocabulario. En los capítulos 3, 5 y 6 abordamos las investigaciones sobre el desarrollo del lenguaje.

Los estudios sobre períodos sensibles son fascinantes y han revelado muchas cosas sobre cómo se desarrolla el cerebro. No hay duda de que un día los hallazgos de las investigaciones esclarecerán la importancia que tienen los períodos sensibles para las destrezas y capacidades que dependen de la formación académica. Actualmente, la principal consecuencia de los descubrimientos de las investigaciones sobre los períodos sensibles es la importancia de que identifiquemos y, si es posible, tratemos los problemas sensoriales de los niños, como las dificultades visuales y auditivas, para que, aunque sea con retraso, aquellos puedan recuperar la función normal. Los resultados sugieren que la privación sensorial temprana puede tener consecuencias duraderas, posiblemente muy leves, indetectables en la vida cotidiana. También indican que incluso después de la privación sensorial puede producirse todavía recuperación y aprendizaje. Tal vez un aprendizaje tardío así difiera del que tiene lugar de manera natural durante los períodos sensibles.

Casi todo lo que se sabe sobre desarrollo cerebral corresponde a la aparición de funciones visuales, de movimiento y de memoria, que se adquieren en casi cualquier entorno del mundo entero aproximadamente a la misma edad. Asimismo, se aprenden de manera natural si se da la estimulación adecuada. Este aprendizaje tiene lugar mucho antes de que los niños inicien la educación propiamente dicha. En general, es la formación académica la que inculca destrezas como la lectura, la escritura o el cálculo aritmético. No obstante, aún se desconoce qué relación tiene la sinaptogénesis con la adquisición de estas destrezas y con el aprendizaje educacional posterior. Muy probablemente, mientras los profesores enseñan, se forman conexiones en el cerebro de los estudiantes: desde las células nerviosas surgen dendritas, formándose millones de sinapsis. Este proceso invisible es la base para retener información nueva y clasificarla con el fin de recuperarla más adelante a voluntad.

Tercer argumento:
el desarrollo del cerebro requiere un entorno enriquecido

Una característica fundamental del desarrollo cerebral es que las experiencias ambientales son tan importantes como los programas genéticos. Durante varias décadas, Bill Greenough y sus colegas de la Universidad de Illinois han lle-

vado a cabo estudios neurobiológicos que han revelado cómo el medio afecta a las sinapsis cerebrales durante el desarrollo. Estas investigaciones se citan a menudo como prueba de la importancia que tienen los entornos enriquecidos en la infancia temprana.

Los estudios de Greenough, realizados con ratas, demostraron la existencia de un proceso adaptativo general que ponía al día la organización del cerebro partiendo de la experiencia del animal. Los primeros trabajos pusieron de manifiesto que las ratas de laboratorio criadas en un entorno enriquecido, con ruedas en las que dar vueltas, escaleras que subir y otras ratas con las que jugar, tenían, en áreas cerebrales implicadas en la percepción sensorial, hasta un veinticinco por ciento más de sinapsis por neurona que las ratas «privadas», criadas en solitario en una jaula de laboratorio sin juguetes ni compañeros de juegos.

Asimismo, las ratas criadas en entornos complejos realizaban mejor ciertas tareas de aprendizaje y eran más rápidas para salir de un laberinto que las ratas privadas. Así pues, parece que los entornos enriquecidos producen ratas más inteligentes. Además de las consecuencias neurales, la experiencia también afecta a otros aspectos de la estrucutura celular cerebral. La cantidad de actividad y ejercicio físico que hace una cría de rata determina el estado a largo plazo del suministro de sangre al cerebro.

El mensaje neto de estos experimentos es que, al menos en lo que respecta a las ratas, los entornos con abundante estimulación sensorial, que facilitan desafíos y aventuras, que contienen otras ratas y que estimulan el ejercicio físico producen cerebros con más conexiones neuronales y un mayor suministro sanguíneo, es decir «ratas más inteligentes». En comparación, los entornos que carecen de estimulación, aventura, otras ratas y la posibilidad de ejercicio físico ahogan el desarrollo cerebral y producen ratas más estúpidas.

Estos resultados, ¿significan que hay que manipular especialmente el entorno de un bebé para que sea más confortable de lo normal? Los experimentos con ratas no nos dan ningún indicio de que «cuanto más enriquecido el entorno, mejor». En estos experimentos, el entorno enriquecido del laboratorio era realmente más parecido al normal de una rata en libertad. ¡La cloacas distan de ser aburridas! El hábi-

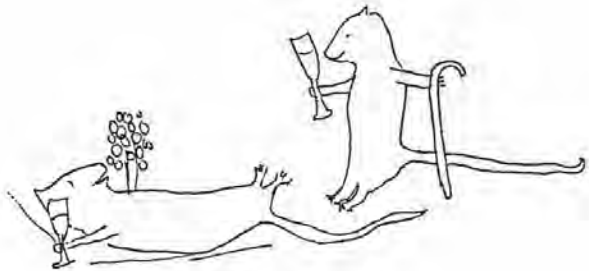


FIGURA 2.8. *En los estudios de Bill Greenough, se criaba a las ratas en un entorno enriquecido, con ruedas en las que girar, escaleras que subir y otras ratas con las que jugar.*

FIGURA 2.9. *Los entornos tempranos enriquecidos parecen producir ratas más inteligentes. Las ratas criadas en hábitats complejos realizaban mejor ciertas tareas de aprendizaje y tardaban menos en encontrar la salida de laberintos que las ratas que habían sufrido privaciones.*

tat natural más conocido de la rata comprende a menudo complicados y largos escenarios parecidos a laberintos, llenos de objetos, túneles, olores, sonidos y un gran número de ratas y otros animales.

Así pues, más que poner de manifiesto que la estimulación adicional origina un aumento de las conexiones sinápticas, sería más exacto decir que un entorno «normal» da origen a más conexiones sinápticas que un entorno precario. Es improbable que a los niños criados en un entorno «normal» concebido en función de sus necesidades se les pueda privar de input sensorial. De todos modos, las investigaciones dan a entender que existe un umbral de riqueza ambiental por debajo del cual un entorno precario podría dañar el cerebro del bebé.

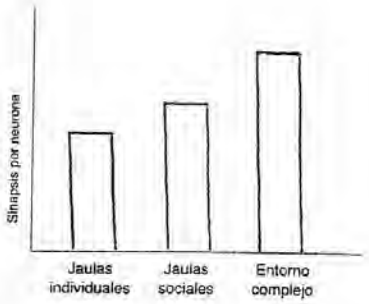


FIGURA 2.10. *Si comparamos ratas criadas en una jaula de laboratorio sin compañeros ni juguetes («jaulas individuales») y ratas criadas en una jaula con uno o más congéneres («jaulas sociales»), las que vivían en jaulas enriquecidas con juguetes, compañeros de juegos y ruedas giratorias («entorno complejo») tenían hasta un 25 % más de sinapsis por neurona en las áreas cerebrales implicadas en la percepción sensorial.* Fuente: adaptado de Grossman et al. *Progress in Brain Research* 2002; 138: 91-108. Copyright © 2002 de Elsevier Science. Con autorización de los autores y Elsevier Science.

ENTORNOS ENRIQUECIDOS Y APRENDIZAJE DURANTE TODA LA VIDA

Los pioneros estudios de Greenough revelaron que el entorno no afecta sólo al cerebro de la rata en desarrollo. La experiencia puede también influir en el cerebro de la rata *adulta*. En trabajos posteriores, Greenough y sus colegas pusieron de manifiesto que el cerebro de la rata adulta también forma sinapsis nuevas en respuesta a experiencias y juguetes nuevos. Por tanto, al menos en las ratas, los efectos de los entornos complejos en el cerebro perduran durante toda la vida. En términos generales, las investigaciones no respaldan la idea favorable a una atención educacional selectiva específicamente en los primeros años del niño.

EFECTOS PERNICIOSOS DE LA PRECARIEDAD AMBIENTAL

Desgraciadamente, en la época actual aún tenemos oportunidades de observar los efectos físicos y mentales de la desatención al desarrollo de los bebés. Hace unos años, se abrieron las puertas de los orfanatos del régimen de Ceaucescu y nos enteramos del espeluznante destino de los bebés abandonados. Mucha gente de países occidentales adoptó niños de estos orfanatos, que habían vivido en condiciones atroces desde las seis semanas hasta los dos o tres años. En el Reino Unido se controló su progreso y se comparó con el de otros niños adoptados. Estos estudios a gran escala fueron llevados a cabo por Michael Rutter y sus colegas de la Universidad de Londres.

Los estudios demostraron claramente que si se desatiende a los bebés, se les causa daño. Los niños que habían sido criados en condiciones muy precarias, con mala nutrición, mala salud y poca estimulación sensorial o social, tenían más probabilidades de presentar un retraso en el aprendizaje de destrezas como andar y hablar, así como un desarrollo cognitivo, emocional y social deteriorado. Rutter y su equipo de investigadores observaron una estrecha relación entre la duración del estado de privación y la gravedad del retraso intelectual del niño. Una pequeña pero significativa proporción de los adoptados rumanos mostraban patrones de conducta de carácter autístico, como acercamientos indiscrimi-

nados a desconocidos, adhesión inflexible a rutinas e intereses obsesivos limitados.

No obstante, en estos estudios la recuperación de capacidades intelectuales y la mejora de las conductas similares a las autísticas fueron extraordinarias. La mayoría de los bebés se restablecieron completamente: desde luego mejoraron sus capacidades sensoriales, las conductas de andar y hablar, y las destrezas sociales y emocionales. Por tanto, aunque mantener a un bebé en una situación precaria es claramente perjudicial, y la duración de la precariedad está relacionada con el alcance de los efectos adversos, estas investigaciones sugieren efectivamente que incluso los niños que han sufrido muchas privaciones pueden recuperarse en gran medida si se les procura atención y estimulación rehabilitadoras. En todo caso, estos estudios sugieren a las claras que nunca es demasiado tarde para la asistencia reparadora.

Vuelta al debate sobre la educación temprana

Las investigaciones examinadas en el presente capítulo, ¿qué sugieren acerca de este acalorado debate? Después de todo, la discusión se ha visto muy influida por hallazgos de los estudios cerebrales. Este es un cuento con moraleja. Para que los resultados de las investigaciones queden establecidos como hechos reproducibles amén de aplicables a los seres humanos en desarrollo, aún queda mucho trabajo por hacer. Las respuestas de las investigaciones neurocientíficas que puedan aplicarse a la educación habrán de ser pacientemente inspeccionadas antes de ser llevadas a la práctica. Si en esto tardamos años, pensemos que no es nada comparado con los siglos de ignorancia en que las cuestiones pertinentes no podían ser estudiadas en absoluto.

Creemos que las investigaciones que hemos analizado en este capítulo no respaldan la idea favorable a una atención educacional *selectiva* sólo en las etapas tempranas del niño, sino más bien que hay que disfrutar de oportunidades de aprendizaje en todas las edades. En pocas palabras, los entornos precarios nunca son buenos para el cerebro. Las privaciones son sin duda malas; por otra parte, el enriquecimiento del medio tal vez no sea forzosamente bueno para el cerebro. No

hay pruebas de que la «colocación en invernaderos» sea beneficiosa para el desarrollo cerebral. Esto no equivale a decir que dicha «colocación en invernaderos» sea necesariamente perjudicial: quizá lo sea, pero aún no se han llevado a cabo los estudios necesarios.

Esto nos recuerda el consumo de vitaminas en nuestra dieta diaria. Es importante superar cierto nivel mínimo. No obstante, a veces oímos advertencias de que, si no es preciso, no debemos añadir vitaminas a la dieta. Es concebible que exista otro umbral por encima del cual las vitaminas sean nocivas. Asimismo es concebible que se pueda sobreestimular el cerebro en desarrollo. Lo que no se conocen son los efectos que podría tener una sobredosis así.

¿Y qué hay de la necesidad de aprovechar los períodos sensibles del aprendizaje? Las investigaciones nos dicen que existen períodos sensibles al menos para la visión, y alientan en nosotros la optimista creencia de que, en cierta medida, es posible dar marcha atrás con respecto a las oportunidades perdidas.

El debate sobre la educación temprana no ha sido en vano. Es bueno que se discutan las primeras experiencias, siendo muy posible que su enorme importancia se vea claramente respaldada por las investigaciones cerebrales del futuro.

Capítulo 3

PALABRAS Y NÚMEROS EN LA INFANCIA TEMPRANA

Aún sabemos muy poco sobre el desarrollo del cerebro humano durante los diez primeros años de vida. Por contraste, la psicología cognitiva ha proporcionado gran profusión de detalles sobre el desarrollo *cognitivo* de los niños. Este conocimiento aún no se ha relacionado de manera sistemática con el desarrollo del cerebro. Una explicación es la lentitud con que vamos disponiendo de la tecnología necesaria. Lo que hace falta son formas de analizar directamente el cerebro en desarrollo: en primer lugar, ver qué sucede con las estructras anatómicas; después, observar el desarrollo de la función cerebral durante la infancia. Recientes avances tecnológicos, como el perfeccionamiento de los aparatos para obtener imágenes cerebrales, nos permiten actualmente llevar a cabo esta clase de estudios, de modo que está comenzando a desarrollarse un campo nuevo y apasionante. Aquí resumiremos principalmente los trabajos realizados por psicólogos cognitivos, que, a nuestro juicio, en el futuro encontrarán su correspondencia en estudios cerebrales.

Los cambios conductuales desde los dos a los seis años y luego otra vez desde los seis a los diez son asombrosos. Un ejemplo es el lenguaje. El lenguaje y sus componentes —sonidos (o *fonemas*), vocabulario y gramática— llegan a dominarse en la infancia temprana mediante el uso de eficaces mecanismos de aprendizaje que ayudan a los niños a aprender simplemente escuchando e interaccionando con adultos y otros niños. Hacia los dos años de edad, la mayoría de los niños están empezando a aprender a hablar. A los seis, es más o

menos completo el conocimiento del sistema completo de sonidos de la lengua materna (*fonología*), su gramática y una gran cantidad de los significados codificados por el lenguaje. Una conversación con un niño de seis años puede ser lingüísticamente tan compleja como la que se mantenga con uno de dieciséis, aunque los temas puedan ser muy diferentes. En muchos países, aproximadamente entre los seis y los diez años de edad se adquiere el lenguaje escrito en la escuela, lo que supone otro hito en el desarrollo del cerebro.

Aprender a hablar

¿El lenguaje es *innato*? Se trata de una vieja pregunta que sólo puede responderse diciendo simultáneamente «sí» y «no». No, en el sentido de que hay muchas lenguas distintas, unas más complicadas que otras, y sólo es posible aprender cada una de ellas escuchándola y hablándola. Es mucho más difícil aprender los lenguajes artificiales regidos por reglas diferentes. En este sentido, aprender la lengua específica de uno indudablemente no es innato. Por otra parte, hay varias normas abstractas que parecen ser inherentes a todos los lenguajes hablados. En este sentido, la capacidad para aprender una lengua natural es innata. Existen más datos que avalan una preferencia consustancial por el habla humana por encima de otros sonidos. Los bebés humanos se orientan hacia el habla automáticamente y casi todos, siempre y cuando se crían en un entorno donde se hable, aprenden a hablar de manera natural y sin esfuerzo. De acuerdo, unos niños aprenden más despacio que otros, y los que no adquieren suficiente experiencia, así como los que sufren ciertos trastornos cerebrales, tendrán grandes dificultades para aprender a hablar. Pero, ¿en qué medida el cerebro todavía en desarrollo de los bebés está equipado para adquirir su lengua materna?

Hay pruebas de que el aprendizaje de los sonidos de la propia lengua comienza *in utero*: los recién nacidos distinguen entre frases dichas en su lengua materna y frases dichas en otra lengua, seguramente basándose en la experiencia prenatal con el habla de la madre. Sólo con unos días de vida, los bebés que oyen el sonido «a» abren la boca de un modo que corresponde a este sonido, y si se trata de la «e» la abren de otra forma.

Es como si estuvieran programados para imitar los sonidos que oyen, antes incluso de saber qué aspecto adopta su boca.

En un experimento pionero, llevado a cabo por un grupo de investigadores franceses de París dirigido por Stanislas Dehaene y Ghislaine Dehaene-Lambertz, se exploró el cerebro de bebés de sólo tres meses mientras estaban dormidos y oían hablar. Curiosamente, en estos bebés de tres meses estaban activadas las mismas regiones cerebrales que en los adultos cuando oyen hablar en su lengua materna. Estas regiones son las que están especializadas en el lenguaje. El experimento da a entender que la organización cerebral no tiene por qué esperar años a que se acumule la experiencia —los mecanismos del procesamiento ya están funcionando. El cerebro de los bebés parece estar preparado para aprender y entender el lenguaje a una edad muy temprana.

CLASIFICACIÓN DE SONIDOS

Al principio, para aprender una lengua hay que clasificar los sonidos que la componen. Estos sonidos se denominan a menudo *fonemas*. Los recién nacidos son capaces de distinguir todos los sonidos del habla. De hecho, los bebés son más sensibles que los adultos a los sonidos que diferencian una palabra de otra. Esto es parecido al hecho de que los bebés son también más sensibles que los adultos a caras de distintas especies, algo que mencionamos en el capítulo 2. Igual que la discriminación facial está determinada por las caras presentes en el entorno natural del bebé, también la discriminación de sonidos está determinada por los sonidos que hay en el entorno del bebé durante los primeros doce meses de vida. Al final de su primer año, los bebés pierden la capacidad de distinguir entre sonidos a los que no están expuestos. Aquí tenemos un ejemplo de *período sensible*.

Es bien conocido que los japoneses no distinguen entre la R y la L. No obstante, en una investigación llevada a cabo en la década de 1980 por Patricia Kuhk, de la Universidad de Washington de Seattle, se puso de manifiesto que los *bebés* japoneses pueden detectar la diferencia entre R y L, aunque sólo durante diez meses. El idioma japonés no contiene sonidos diferenciados para R y L, por lo que los bebés japoneses

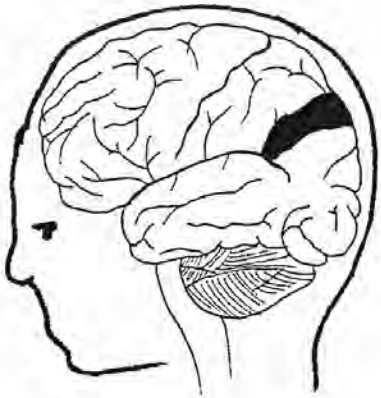


FIGURA 3.1. *La circunvolución angular izquierda, un área del lenguaje, se activa cuando se dicen palabras a bebés de dos a tres meses. A esta edad tan temprana, parece que el cerebro ya está preparado para procesar lenguaje.* Fuente: adaptado de la figura 2C de Dehaene-Lambertz et al. *Science* 2002; 198: 2013-2015. Copyright © 2002 de AAAS. Adaptado con autorización de los autores y AAAS.

no están expuestos a dichos sonidos y a la larga pierden la capacidad de distinguir entre ellos. Al año de vida, ya no perciben la diferencia entre R y L. En cambio, los bebés criados en los EE.UU. llegan a establecer mejor esta distinción porque están expuestos a dos sonidos distintos. Si durante este período los bebés japoneses estuvieran expuestos continuamente tanto al idioma japonés como al inglés, también aprenderían la diferencia entre R y L.

Hay muchos sonidos de diferentes idiomas que los americanos y los británicos son incapaces de distinguir. Janet Werker y Renée Desjardins y sus colegas de Canadá realizaron un ingenioso experimento en el que emitían a una serie de bebés, niños y adultos dos sonidos diferentes (como «da» y «ba») y les enseñaban a indicar cuándo apreciaban una diferencia entre ambos. Ni bebés, ni niños ni adultos tuvieron problema alguno para detectar la diferencia entre «da» y «ba». No obstante, cuando los investigadores presentaron a los mismos participantes dos sonidos muy similares comunes en la lengua hindi sucedió algo distinto. Los niños y los adultos simplemente no podían detectar ninguna diferencia entre los dos sonidos. Para los propios investigadores canadienses resultaba imposible distinguirlos. Pero los bebés de edad inferior a doce meses sí eran capaces de percibir la diferencia. Estudios posteriores han demostrado que el corte se produce en algún momento situado entre los ocho y los doce meses: antes de esta edad, los bebés criados en Norteamérica son capaces de detectar la diferencia entre ciertos sonidos del idioma hindi, capacidad que pierden a partir de los 8-12 meses.

APRENDIZAJE DE SONIDOS TRAS EL PERÍODO SENSIBLE

Esta investigación nos recuerda lo de la «ventana que se cierra» que vimos en el capítulo 2. ¿Es la ventana cerrada lo que explica hasta cierto punto que los japoneses ya no puedan aprender la diferencia entre la L y la R? No exactamente. Con esfuerzo puede producirse aprendizaje, si bien esto no resulta satisfactorio por igual en todas las personas. Curiosamente, la medición de actividad eléctrica en el cerebro de adultos que hablan mientras escuchan sonidos en un idioma distinto del suyo propio revela sensibilidad a diferencias físicas en los sonidos extraños incluso cuando la persona no es en absoluto consciente de estas diferencias. Este resultado, obtenido por Annette Karmiloff-Smith y sus colegas de la Universidad de Londres, sugiere que lo que pierde el cerebro no es la capacidad para «oír» diferencias sutiles sino la facultad para tratarlas como algo significativo. Tal como expusimos en el capítulo 2, esta pérdida es también una ganancia por cuanto permite la organización rápida y eficaz de los sonidos del habla que nos encontramos con más frecuencia, y, por tanto, los más relevantes.

Para que tenga lugar aprendizaje nuevo después del período sensible, la interacción social con otras personas parece ser clave. Un estudio reciente de Patricia Kuhl ha confirmado una vez más que los niños de edad superior a nueve meses son capaces de aprender nuevos sonidos del habla a los cuales no habían estado expuestos antes, tras el período sensible para la

clasificación de sonidos. De todos modos, este estudio ponía de manifiesto que se producía aprendizaje posterior sólo si los sonidos nuevos procedían de una persona real que interaccionaba con los bebés. En esta edad no se producía aprendizaje alguno si se presentaban los mismos sonidos mediante un vídeo o una cinta.

Aprendizaje de una segunda lengua

Muchos niños del mundo crecen aprendiendo dos o más lenguas. No obstante, en los países occidentales es habitual que aprendan sólo una, siendo esto lo que ocurre especialmente con los idiomas dominantes, como el inglés, el francés, el español o el alemán. En los países donde se hablan estos idiomas, a menudo no se intenta el aprendizaje de una segunda lengua hasta la adolescencia. Desde luego, tener conocimientos de otro idioma siempre se ha considerado un signo de nivel cultural. El valor de esta lengua adicional no se contempla sólo en términos prácticos (podemos ir de vacaciones a un país donde se hable el idioma en cuestión) sino también en lo que respecta a su valor cultural intrínseco.

Habida cuenta del actual dominio del inglés en todo el mundo como el medio internacional de comunicación, millones de personas lo aprenden actualmente como segunda lengua. La necesidad de ser bilingüe, o incluso multilingüe, crea nuevas oportunidades, y es razonable preguntarse cuáles pueden ser las consecuencias si los hablantes nativos de inglés no aprovechan la presión para ser bilingües. ¿Qué significa la necesidad de ser bilingüe para el cerebro en desarrollo?

He aquí un posible escenario para que el niño aprenda más de una lengua. La madre y sus parientes sólo hablan francés. El padre y sus parientes sólo hablan inglés. Todos se entienden entre sí pero nunca utilizan su lengua materna. Un niño que conocemos, que creció en una familia así, usaba un idioma para hablar y los dos para escuchar. Cuando fue a la escuela, ¡quedó de lo más sorprendido al ver que los otros niños no le entendían cuando él les hablaba en inglés mientras ellos hablaban en francés!

Otro niño que conocemos fue criado en una familia de diplomáticos que siempre estaba viviendo en el extranjero. Aprendió su lengua materna, que hablaba en casa, pero también el idioma del país en el que vivían. Cuando la familia regresó a su país de origen, ¡el niño se quedó asombrado al oír el idioma de la casa hablado en la calle por desconocidos! Creía que cada familia tenía su propia lengua privada que utilizaba sólo en casa.

Muchos niños aprenden a ser bilingües a una edad temprana y parecen arreglárselas perfectamente. Los bebés criados en familias con dos lenguas tardan en desarrollar el lenguaje algo más que los criados en familias con una sola lengua. No obstante, en el hecho de estar expuesto a dos lenguas desde el nacimiento hay claras ventajas. Por lo general, estos niños pronuncian mejor y comprenden mejor la sintaxis de ambos idiomas que los que empiezan a aprender una segunda lengua a una edad más tardía. Además, comienzan pronto a reflexionar sobre el lenguaje, algo que normalmente constituye un logro bastante posterior. Son conscientes de que palabras ciertamente distintas pueden referirse al mismo objeto: «perro» significa lo mismo que «chien» o «dog». Quizá esto sea una ventaja, pero no sabemos por qué; en todo caso, estamos seguros de que los niños monolingües se pondrán a su nivel.

El impulso para pensar en el lenguaje y el significado —por ejemplo, que el mismo sonido puede tener dos significados diferentes (p. ej., «banco», como lugar donde se guarda el dinero o como mueble para sentarse)— llega a ser muy fuerte después de aprender a leer. El hecho de que el lenguaje sea visible en letra impresa influye enormemente en la capacidad de pensar y razonar sobre ello como objeto de interés.

Veamos si la siguiente frase es correcta: «La suciedad me hace estar limpio.» Bueno, es gramaticalmente correcta, pero semánticamente es un disparate. Para los niños pequeños que aún no están en edad escolar resulta difícil hacer esta sutil distinción. Se niegan a admitir que una frase así pueda ser «correcta». El significado domina sobre la sintaxis hasta tal punto que ésta es invisible y cuesta mucho pensar en ella a título propio. Lo mismo se cumple para los sonidos correspon-

dientes a palabras: ¿Qué palabra es más grande, «pera» o «piruleta»? El significado vence de nuevo, y el niño seguramente responderá «pera».

El verdadero bilingüismo, en el sentido de que ninguna lengua tiene un estatus preferente, no existe. Para muchas personas que no son bilingües esto es sorprendente. Aunque uno esté expuesto a dos lenguas por igual desde el nacimiento, se escoge siempre una como «lengua materna». Estudios de neuroimágenes han revelado que, sea cual fuere la lengua materna, ésta se procesa en regiones universalmente similares, principalmente del hemisferio izquierdo. Por otro lado, las áreas cerebrales utilizadas para una segunda lengua se superponen en parte, pero también ocupan regiones adicionales, las cuales difieren algo de una persona a otra.

Actualmente, muchos niños aprenden una segunda lengua en la escuela. A menudo se afirma que, dado que su cerebro es flexible, tienen mucha más capacidad que los adultos para aprender. De hecho, ciertos estudios con personas bilingües ponen de manifiesto que la gramática y el acento se dominan mejor si se aprenden a una edad temprana. Sin embargo, esto tal vez no sea cierto en el caso de la semántica y el vocabulario, que pueden aprenderse a cualquier edad.

ACENTO EXTRANJERO

¿Por qué los hablantes no nativos de un idioma conservan un acento reconocible en su lengua de adopción, aunque la hayan hablado más años que su lengua materna? ¿Qué tiene la lengua materna que deja una impronta tan indeleble? Ya hemos visto que la clasificación de sonidos se establece en etapas tempranas y da como resultado ventanas que se cierran. A partir de este momento ya no aprendemos nuevamente partiendo de cero, como sucedía antes. Ahora utilizamos nuestra estructura materna de sonidos como base y la adaptamos a otra lengua en vez de armar una estructura nueva. Así pues, una segunda lengua aprendida después de los cinco años, más o menos, siempre tendrá un acento característico.

Es curioso encontrar diferencias individuales importantes en el acento extranjero. Algunas personas apenas tienen acento, aunque hayan aprendido la segunda lengua después de los diez años, pero otras mejoran sólo ligeramente —en el mejor de los casos— tras años y años de práctica. Hasta ahora nadie ha descubierto por qué. Un acento extranjero, como el del dialecto concreto de una lengua materna, es un indicador de la identidad, igual que el aspecto físico. Quizá estos indicadores hayan desempeñado un papel evolutivo importante en el reconocimiento de miembros de la familia y parientes más lejanos.

Hablar antes de adquirir el habla

Mucho antes de que los bebés sean capaces de pronunciar palabras reconocibles, comienzan a balbucear. Desde aproximadamente los siete meses, los bebés producen toda clase de sonidos, como «bababa» y «dadada», y ruidos, como chasquidos y gorgoteos. No todos formarán parte más adelante de su habla materna. En cualquier caso, los balbuceos incluyen a menudo sonidos que constituyen el lenguaje en el entorno del bebé. Parece verosímil que este sea un mecanismo útil para aprender cómo se producen los sonidos de la lengua propia. Por otro lado, incluso los niños que apenas balbucean son capaces de aprender a hablar. Así pues, se puede aprender a hablar sin señales externas de práctica.

LOS NIÑOS SORDOS BALBUCEAN CON LAS MANOS

Al principio se creía que el balbuceo estaba determinado por el desarrollo de la anatomía del tracto vocal y los mecanismos cerebrales que subyacen al control del habla verbal —y que por tanto son específicos de la producción de lenguaje hablado—. No obstante, esta teoría es claramente insuficiente, pues parece que los niños sordos balbucean con las manos. Laura-Ann Petito y sus colegas de la Universidad McGill de Toronto grabaron vídeos de bebés sordos de 10-14 meses de edad (cuyos padres eran sordos) y de bebés que oían normalmente (igual que sus padres) en su entorno natural. A continuación, los investigadores analizaron los vídeos y observaron que los bebés sordos parecen hacer algo similar al balbuceo de los bebés normales, pero con las manos. Con las manos

realizan movimientos que constituyen un subconjunto de los movimientos de las manos de que se compone el lenguaje de los signos utilizado por sus padres sordos. En un estudio publicado en 2004 por el mismo grupo se señalaba que incluso los bebés normales con padres sordos balbucean con las manos, lo que da a entender que el balbuceo es una parte intrínseca del aprendizaje del lenguaje, con independencia de cuál sea éste. El balbuceo es un claro signo de que los bebés están descubriendo cómo hacer corresponder la estructura percibida del lenguaje (oído o visto) con los medios para producir dicha estructura.

Asociación rápida

Cuando los bebés tienen alrededor de un año, empiezan a pasar de los sonidos a las palabras. En un proceso denominado *asociación rápida*, los bebés comienzan a hacer corresponder palabras con objetos basándose en las palabras que oyen utilizar a la gente. Desde aproximadamente los dieciocho meses hasta los dos años, cuando la mayoría de los niños han establecido un núcleo de unas 20-50 palabras individuales, se incrementa la velocidad a la que aprenden palabras nuevas. Cuando tienen en torno a los cinco años, la mayoría de los niños poseen un vocabulario de dos mil palabras o más, ritmo de aprendizaje que continúa en la enseñanza primaria. La capacidad para adquirir vocabulario nuevo se mantiene durante toda la vida. Según Paul Bloom, de la Universidad de Yale, no se aprecian cambios espectaculares en la velocidad de adquisición de palabras nuevas. Los adultos también aprenden palabras nuevas a un ritmo rápido.

Aprendizaje de la gramática

A medida que aumenta el vocabulario de los niños, estos empiezan a unir palabras en secuencias y a fijar unos conocimientos básicos de gramática. Los niños desarrollan reglas gramaticales (p. ej., los plurales, los tiempos verbales) sin necesidad de que se les expliquen de manera explícita. A

los dos años, pueden decir correctamente «roto», pero de vez en cuando acaso digan «rompido». Esto sugiere que unas veces copian palabras que oyen decir a los adultos y otras usan las normas lingüísticas que han deducido inconscientemente. En ocasiones quizá lleven demasiado lejos el uso de estas reglas debido a que muchas lenguas no se rigen por un único reglamento.

Noam Chomsky, del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts, de Boston), hizo la famosa sugerencia de que los bebés humanos están provistos de un instrumento natural para aprender el lenguaje. Steven Pinker, que difundió esta teoría, llevó a cabo algunos experimentos realmente convincentes. Si a niños de tres a cinco años se les pide que digan una palabra para un «monstruo que come ratones», el 90 % soltará «comedor de ratones». Pero si a los mismos niños se les pide una palabra para un mostruo que come ratas, sólo el 2 % responderá «comedor de ratas». Así pues, parece que los niños pequeños tienen cierta idea de cómo formar palabras compuestas con plurales regulares e irregulares. (El sentido de este ejemplo se entiende mejor si recordamos que, en inglés, el plural de *mouse* [ratón] es *mice*, mientras que el de *rat* [rata] es *rats*. Y el comedor de ratones es *mice-eater* y el de ratas, *rats-eater*.) Es sorprendente que los niños pequeños sean capaces de extrapolar las reglas gramaticales simplemente partiendo de los plurales regulares e irregulares pronunciados por sus padres, sin que nadie les haya enseñado nada de forma explícita. Pinker considera que esta impresionante capacidad es consecuencia de la organización intrínseca del sistema gramatical de los niños, que se desarrolla en cuanto los bebés se ven expuestos al lenguaje.

Los niños difieren en cuanto a su capacidad para aprender y utilizar la gramática. Algunos no pueden aprender gramática debido a una anomalía cerebral leve; presentan un deterioro específico del lenguaje (SLI: *specific language impairment*). Heather van der Lely, de la Universidad de Londres, observó que estos niños carecen de la capacidad aparentemente innata de descifrar y generar frases normales. Pueden aprender a hablar y entender frases, pero despacio, y muchos presentan problemas sutiles incluso cuando adultos. En otras áreas del aprendizaje, los niños con SLI pueden ser muy rápidos y hábiles.

Unas lenguas tienen reglas gramaticales más complejas que otras y se tarda más en aprenderlas. Esto es válido tanto para la estructura de los sonidos como para la gramática y la formación de palabras. No basta con tener un programa genético para aprender lenguaje; los niños aprenden su lenguaje particular escuchando a los adultos y a otros niños cuando estos usan palabras para comunicarse con ellos, e imitando lo que oyen.

Los adultos, sobre todo en los primeros años, desempeñan un papel esencial en el desarrollo del lenguaje sin realizar ningún esfuerzo real para ello, por ejemplo, utilizando un lenguaje que a los bebés les resulte fácil de aprender. *Motherese*, o *parentese*, es un término utilizado para referirnos al modo en que los adultos hablan a menudo a los bebés —mediante sonidos vocálicos exagerados, agudos y largos—. El *motherese* se produce en todas las culturas y presenta ventajas porque las frases cortas y sencillas y las vocales largas ayudan a los niños a aprender los sonidos y la estructura de su lenguaje. Esta conducta de los adultos parece casi involuntaria; es como si estuvieran programados para comportarse de un modo que ayude al desarrollo de los niños.

FIGURA 3.2. *Las madres tienden a hablar en un tono agudo a los bebés y a las mascotas. No obstante, al hablar con las mascotas no suelen incluir los sonidos vocálicos alargados que usan con los bebés.* Fuente: adaptado de la figura 1B de Burnham et al. *Science* 2002; 296: 1435. Copyright © 2002 de AAAS. Con autorización de los autores y AAAS.

Un estudio precioso ha revelado recientemente que las madres hablan a sus bebés de forma distinta a como lo hacen con sus mascotas. Las mujeres se dirigen cariñosamente tanto a los niños como a los animales de compañía, con un tono más agudo que cuando hablan con adultos. Sin embargo, en esta habla afectuosa utilizan las vocales más alargadas sólo con los bebés. El alargamiento de las vocales tal vez actúe como un mecanismo pedagógico, pues puede dirigir la atención del niño a aspectos concretos del habla que más adelante aquél deberá producir. Sin duda, las mascotas no aprenden a hablar ninguna lengua, por lo que no requieren estas vocales alargadas.

CÓMO APRENDE GRAMÁTICA EL CEREBRO

Los procesamientos gramatical y semántico (vocabulario) parecen basarse en distintos sistemas neurales dentro del cerebro. Esto puede ponerse de manifiesto comparando las regiones cerebrales que están activadas cuando leemos palabras como «gato», «casa» o «coche», que procuran información semántica, con las regiones activadas cuando leemos palabras como «arriba», «de» o «desde», que proporcionan información gramatical. Ciertas investigaciones con electroencefalogramas (EEG; véase apéndice) llevadas a cabo por Helen Neville, de Portland (Oregón), han mostrado que el procesamiento semántico activa los dos hemisferios cerebrales (derecho e izquierdo), mientras que el procesamiento gramatical normalmente sólo activa el izquierdo.

Nuevas investigaciones del laboratorio de Neville han indicado que parece haber un período sensible para aprender gramática pero no para aprender vocabulario. Para aprender vocabulario se utilizan los mismos sistemas cerebrales sea cual sea la edad. De modo que, con independencia de si un niño comienza a aprender inglés a los cuatro, a los siete o a los doce años, para procesar la información semántica se usan los mismos sistemas cerebrales —que están ubicados en las regiones *posteriores* de los *hemisferios* derecho e izquierdo—. Por contraste, el modo en que el cerebro procesa información gramatical cambia en función de la edad a que la persona es expuesta al lenguaje por primera vez. Según estos estudios, los indi-

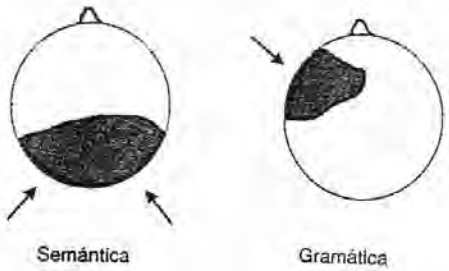


FIGURA 3.3. *Helen Neville y sus colegas observaron que el procesamiento semántico activa los dos hemisferios cerebrales, el derecho y el izquierdo, mientras que el procesamiento gramatical normalmente sólo activa el izquierdo. La nariz indica la parte delantera de la cabeza. La imagen es una visión desde arriba.* Fuente: adaptado de figura 2 de Neville, Helen J. y Bruer, John T. (2001), en *Critical Thinking About Critical Periods*, editado por Donald B. Bailey, Jr., John T. Bruer, Frank J. Symons & Jeff W. Lichtman. Baltimore: Paul H. Brookes Pub Co. Copyright © 2001 de Paul Brookes Pub Co. con autorización de los autores y de Brookes Publishing.

viduos que aprendían inglés como lengua materna o como segunda lengua entre el año y los tres años de edad activaban el lado izquierdo del cerebro al procesar gramática inglesa. Sin embargo, las personas que aprendían inglés más adelante, generalmente como segunda lengua, acababan activando no sólo regiones del hemisferio izquierdo sino también regiones similares del derecho. De hecho, cuanto más años se tienen al iniciar el aprendizaje de la segunda lengua más *bilateral* es la actividad cerebral.

Este cambio en la activación cerebral en las personas que aprenden inglés a una edad temprana en comparación con las que lo aprenden más tarde indica que retrasar la exposición a la lengua lleva al cerebro a utilizar una estrategia distinta a la hora de procesar gramática. En efecto, los individuos que aprendían el idioma más adelante y mostraban activación bilateral durante el procesamiento del lenguaje realizaban peor las

tareas gramaticales. Esto no significa que estas personas no puedan mejorar su gramática inglesa, pero los resultados sugieren que la activación bilateral del cerebro indica un método de aprendizaje inhabitual y posiblemente más difícil.

Una repercusión clara de estas investigaciones en la educación es que quizás haya un tiempo finito para el tipo más eficaz de aprendizaje gramatical. Después de los trece años, aún somos capaces de aprender gramática, pero seguramente somos menos eficientes y usamos estrategias cerebrales distintas de las que habríamos usado si hubiéramos aprendido gramática antes. Los estudios de Neville sugieren que cuanto antes se aprende gramática, con más rapidez se adquiere.

Estos estudios tienen consecuencias para la enseñanza de primeras y segundas lenguas. Retrasar la exposición a una lengua lleva al cerebro a utilizar una estrategia distinta al procesar la gramática de dicha lengua. Aprender un segundo idioma después de los trece años probablemente dé como resultado un dominio menos automático de la gramática de este idioma. En la mayoría de los países europeos y en los EE.UU., por lo general el aprendizaje de una segunda lengua comienza más o menos a los trece años. Si se trata de dominar la gramática y el acento con la máxima eficiencia posible, es simplemente demasiado tarde.

Lo mismo vale para los niños sordos que necesitan aprender el lenguaje de los signos. A veces a estos niños se les impide utilizar el lenguaje de los signos por miedo a que éste afecte a su capacidad para aprender un lenguaje hablado. No obstante, el lenguaje de los signos tiene un sistema gramatical muy específico, por lo que si los niños no lo aprenden pronto, tienen menos posibilidades de dominarlo en el futuro.

Aprender a leer y escribir

Tras aprender un lenguaje hablado de manera natural, ¿cómo afronta el niño el aprendizaje de la destreza no natural de leer y escribir? Desde luego, en la mayoría de los países la palabra impresa ha llegado a formar parte de nuestro entorno natural. Este es un ejemplo excelente de cómo la cultura, que al principio introduce lentamente invenciones artificiales, a la larga se vuelve omnipresente y, por tanto, «natu-

ral». Para comprender las palabras escritas, los niños deben entender que un objeto puede representarse mediante determinados sonidos y que estos pueden representarse mediante líneas en una superficie. Tanto la lectura como la escritura se adquieren más fácilmente si se fundamentan en un buen lenguaje hablado.

Clasificar palabras y aprender el alfabeto supone prestar atención a los sonidos del habla. Esto ha sido demostrado de manera convincente por investigadores del laboratorio Haskins de Connecticut. Peter Bryant, psicólogo del desarrollo en la Universidad de Oxford, observó que a los niños en edad pre-escolar les gustan mucho las canciones infantiles, y sugirió que esto ponía de manifiesto una consciencia implícita del sonido y el ritmo del lenguaje hablado. Si a un niño de tres años le decimos «Jaime y Catalina subieron las ESCALERAS», el niño seguramente se reirá y nos corregirá diciendo: «Jaime y Catalina subieron la COLINA». Las poesías infantiles son fáciles de recordar porque riman. Las palabras que empiezan con el mismo sonido también pueden formar bonitos «poemas» —Peter Piper, Fee Fie Fo Fum... Entender las rimas es una cosa, pero entender los sonidos que las componen es otra muy distinta.

Al comparar lenguas diferentes, Usha Goswami, de la Universidad de Londres, advirtió que en idiomas distintos del inglés la rima desempeña un papel menos importante. Si partimos de ahí, es improbable que la sensibilidad a las rimas sea una condición *sine qua non* para aprender a leer y escribir. En vez de ello quizá sea una señal (en algunas lenguas pero no todas) de que el sistema del habla se está volviendo maduro en lo referente al desarrollo.

Aprender fonemas y aprender letras suelen ir de la mano, de modo que los sonidos del habla pueden llegar a ser un objeto de aprendizaje debido a las letras que los representan. Es difícil saber qué va primero. No es seguro que sea posible acelerar el desarrollo de la lectura suscitando consciencia de los fonemas sin las letras. Las investigaciones cerebrales, ¿pueden arrojar alguna luz sobre los procesos subyacentes a la formación de rimas, la consciencia de los fonemas, la atención a las formas visuales de las letras y las destrezas de la lectura y la escritura? Seguramente, pero aún no se han llevado a cabo los estudios pertinentes.

En ciertos estudios de neuroimágenes se han analizado destrezas de formación de rimas en adultos (¿B rima con T? Sí. ¿Y con S? No.) Las regiones cerebrales que están activas cuando respondemos a estas preguntas integran el sistema que el cerebro utiliza para leer y para el lenguaje en general. Esta porción del sistema del lenguaje también está activa cuando intentamos recordar un número de teléfono, una serie de sonidos que quizá enumeremos en silencio en el proceso de recordarlos. Así pues, una gran parte del sistema cerebral del lenguaje parece estar dedicada al procesamiento de sonidos.

En los sordos, la parte del sistema cerebral del lenguaje que procesa el habla no responde a sonidos sino a señas gestuales. Recordemos que los componentes del lenguaje no tienen por qué ser forzosamente sonidos o voces sino que pueden ser también gestos de las manos.

ESCRITURA

A medida que aumenta su competencia gramatical y su vocabulario, los niños van siendo cada vez más capaces de ofrecer una descripción continua de acontecimientos, es decir, «contar una historia». Esta forma narrativa del habla tiene que ver con la expresión lingüística independiente necesaria para la escritura. Los niños que tienen destrezas narrativas adecuadas aprenden a leer y a escribir más fácilmente que los que presentan un nivel bajo en dichas destrezas. Pocos niños habrán adquirido las habilidades implicadas en la escritura antes de los cuatro años, al margen de lo bueno que sea su lenguaje coloquial o lo expuestos que estén a libros y otras formas de escritura.

Aunque al empezar a escribir los niños quizá usen letras de plástico y teclados, para escribir en un papel han de ser capaces de coordinar y controlar los movimientos de sus dedos. La *corteza motora* del cerebro, que controla la coordinación de las manos y los dedos, generalmente no está desarrollada del todo al menos hasta los cinco años de edad; además, ciertos estudios sugieren que la coordinación de los dedos y las manos progresa más lentamente en los chicos que en las chicas. El desarrollo prosigue a lo largo de la enseñanza primaria. Habida cuenta de que hay grandes diferencias indivi-

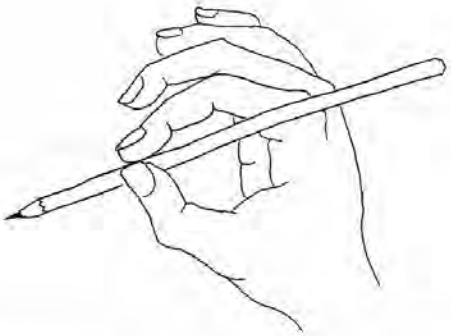


FIGURA 3.4. *La coordinación precisa de los dedos, así como la coordinación de la mano y el brazo, todas ellas necesarias para la escritura, se desarrollan durante los cinco primeros años de vida, aproximadamente.*

duales en el ritmo de adquisición de la coordinación motora precisa, no tiene sentido enfadarse con un niño que hace pocos progresos en la escritura simplemente porque no controla los movimientos de su mano. Queda pendiente averiguar si es posible o no acelerar la coordinación mediante la escritura a mano u otros tipos de ejercicios con los dedos.

DISPRAXIA

Algunos niños presentan dificultades desmesuradas, probablemente a causa de alguna anomalía cerebral en la coordinación motora. Esto recibe el nombre de *dispraxia*, y se observa en la incapacidad del niño para abotonarse la ropa, sostener un lápiz como es debido o lanzar y recibir bolas. Dado que hay partes importantes del cerebro dedicadas a mantener la postura y a impedir que nos caigamos si estamos en un terreno irregular o resbaladizo, puede que una anomalía cerebral, por pequeña que sea, se manifieste en un control motor deficiente. Esto evidentemente afecta a la capacidad para escribir con la mano.

Números y sumas

Según el famoso psicólogo suizo Jean Piaget, los bebés no desarrollan ningún tipo de sentido de los números al menos hasta los cuatro o cinco años de edad. Piaget puso de relieve que, antes de esta edad, los niños hacen mal el «test de conservación de números». En este test, se enseña a los niños dos hileras, una de seis vasos y otra de seis botellas. Los objetos de cada hilera guardan la misma distancia entre sí, teniendo ambas la misma longitud. Se pregunta a niños de tres años qué hilera contiene más objetos, y casi todos responden que son iguales. A continuación, si extendemos la fila de vasos de modo que quede un espacio mayor entre cada dos vasos y hacemos la misma pregunta, la mayor parte de los niños dirán que en esta hilera hay más objetos. Así que, por lo visto, los niños de tres años creen que el número depende de lo grande que parezca algo. Según Piaget, esto demuestra que los niños pequeños no «conservan» el número.

Las teorías de Piaget han tenido una enorme influencia en los sistemas educativos occidentales. A menudo se da por supuesto que cualquier aprendizaje matemático antes de los seis años, aproximadamente, es sólo memorización, sin que incluya ninguna comprensión profunda de los conceptos aprendidos. Algunas personas han sostenido que enseñar matemáticas a una edad en que los niños carecen de un verdadero conocimiento de los conceptos matemáticos puede hacer que se vuelvan recelosos o que tengan miedo a las matemáticas. En consecuencia, los niños a menudo dedican muchos años a aprender sobre conjuntos y subconjuntos, lo cual, de acuerdo con Piaget, es una condición previa para adquirir un concepto más profundo del número.

Desde que se publicaron las teorías de Piaget, numerosísimas investigaciones han demostrado que la idea de que los niños pequeños carecen de un concepto del número es simplemente errónea. El problema de los test de Piaget es que a menudo pasan por alto aquello de lo que los niños son realmente capaces. Cuando se analizan los conceptos matemáticos de los niños pequeños sin formular preguntas explícitas sobre los mismos, aquéllos parecen obtener mejores resultados en las pruebas. Esto nos recuerda la importante diferencia entre

conocimiento *implícito* y *explícito*. El conocimiento implícito puede estar oculto.

Usando una ingeniosa versión renovada del experimento de conservación de Piaget descrito antes, en la década de 1960 los psicólogos cognitivos Jacques Mehler y Tom Bever, en Boston por entonces, demostraron que los niños de tres años pueden «conservar» implícitamente el número. Pusieron de manifiesto que en ciertas situaciones experimentales es posible llegar a los mismos resultados que obtuvo Piaget: los niños de incluso cuatro años responden a menudo que las hileras más largas contienen más canicas que las más cortas, aunque en estas últimas haya realmente más canicas que en las otras. No obstante, si las canicas son sustituidas por caramelos (en el estudio se utilizaron M&M) y no se requiere ninguna respuesta verbal —se dice a los niños que escojan cuál de las dos filas quieren comerse—, ya a los dos años los niños optan por la hilera con más caramelos M&M, sin importarles su longitud. Así pues, evidentemente los niños sí tienen cierto concepto del número a una edad mucho más temprana que la sugerida por Piaget.

INCLUSO LOS BEBÉS SABEN SUMAR

Ciertos estudios más recientes revelan a todas luces que incluso los bebés muy pequeños tienen cierto concepto del número. No obstante, parece claro que se limitan a números muy pequeños. De todos modos, este pequeñísimo conjunto de números basta para demostrar que pueden sumar y restar de manera espontánea.

Keren Wynn, de la Universidad de Yale, realizó una serie de ingeniosos experimentos según los cuales ya los bebés de cinco meses tienen cierto conocimiento acerca de sumar y restar. En un estudio, enseñó a los bebés un juguete que luego escondió tras un biombo. Después los bebés veían cómo Wynn escondía un segundo juguete en el mismo sitio. Al cabo de unos segundos, la investigadora apartaba el biombo y cronometraba el tiempo durante el cual los bebés miraban. Si al quitar la mampara sólo había un juguete (el resultado «imposible»), los niños miraban mucho más rato que si aparecían los dos (el resultado «posible»). En otras palabras, los bebés se

sorprendían de que el número de juguetes no cuadrara. Este estudio demuestra que los bebés ya tienen cierta idea de que uno y uno son dos.

APRENDER A CONTAR

Por lo general, hacia los tres años los niños empiezan a contar y a aplicar palabras numéricas a objetos (p. ej., «tengo tres muñecas») y a acciones («he subido tres escalones»). Según las psicólogas del desarrollo Sue Carey y Liz Spelke, de la Universidad de Harvard, este es un paso crucial que permite que el pequeño conjunto inicial de números se amplíe —con el tiempo— hasta el infinito. La capacidad de los niños para contar es escasa si se les pide que comparen dos o más grupos de objetos. Sin embargo, si se les analiza con un grupo cada vez, a los dos o tres años ya entienden que para contar hay que seguir un orden prefijado y que el último número contado representa el valor del conjunto. Cuando los niños muy pequeños empiezan a aprender los nombres de los números, como en «un, dos, tres, al escondite inglés», en realidad no están contando. No se desarrolla un conocimiento profundo del significado de contar hasta el final del cuarto año de vida. Hasta los tres o cuatro años, los niños no parecen comprender que contar tenga algo que ver con saber «cuántos». Por lo visto, esta comprensión progresa mediante la enseñanza informal de los padres y hermanos, y la formal de los maestros.

Según Rochel Gelman y Randy Gallistel, de la Universidad de California, los niños están dotados de principios innatos para contar aun cuando carezcan de palabras para los números. Antes incluso de los tres años, mucho antes de que hayan recibido ninguna enseñanza explícita, los niños responderán correctamente cuando se les pregunte cuántas veces ha aparecido un personaje en un programa de televisión, o cuántas veces ha chapoteado en el agua una ballena. Gelman ha puesto de relieve que los niños de tres años y medio siempre detectan errores en los cómputos. Por ejemplo, advierten cuándo un adulto recita números de manera desordenada, se olvida de contar uno o cuenta uno dos veces. Hacia los cuatro años, los niños generalizan las reglas de contar a situacio-

nes nuevas. Igual que se ha sugerido que nacemos con una disposición a aprender las reglas gramaticales, se ha sugerido también que nacemos con una capacidad para aprender sobre números.

USO DE LOS DEDOS

Antes de recibir ninguna enseñanza convencional, los niños desarrollan ayudas que les permitan sumar y restar. Utilizan los dedos como contadores. Los de tres años suman dos series de números contando la primera con unos dedos, la segunda con otros dedos distintos, y luego contando todos los dedos levantados. Hacen progresos rápidos realizando la misma rutina sin necesidad de los dedos. Hacia los cuatro o cinco años, los niños descubren que sumar dos números es más fácil si se empieza contando hacia arriba, desde el número más grande. Si preguntamos cuántos son 2 y 5, los niños a menudo invierten el problema y cuentan dos números desde 5, tardando en ello menos que en contar cinco números desde 2. Esto pone de manifiesto que, antes de recibir ninguna enseñanza formal, los niños desarrollan con bastante naturalidad el concepto de que a + b es igual que b + a.

La capacidad temprana de los niños para sumar y restar cosas se basa en su experiencia con los objetos y acaso sea un precursor del tipo más formal, abstracto, de adición y sustracción que se aprende en la escuela.

¿QUÉ HAY EN EL CEREBRO QUE NOS HAGA CAPACES DE REALIZAR CÁLCULOS ARITMÉTICOS?

Sólo unos días después de nacer, los bebés saben distinguir entre dos y tres objetos. ¿Cómo es posible? El cerebro debe de estar provisto de cierto concepto de número que se desarrolla durante la gestación. Seguramente es así, pues resulta difícil explicarse cómo los bebés podrían aprender sobre números a partir del entorno en sus primeros días de vida. El neurocientífico francés Stanislas Dehaene ha sugerido que ya antes de nacer el cerebro desarrolla, mediante control genético, un módulo especializado para identificar números. Igual que el

cerebro del recién nacido está dotado de un sistema visual inicial antes de la exposición a estimulación visual, puede que también esté provisto de un equipo de arrancada para un sistema numérico.

Esta idea también explica por qué algunos individuos singulares no tienen concepto de número y les resulta increíblemente difícil entender siquiera los problemas matemáticos más básicos. Reciben el nombre de *discalcúlicos*.

El hecho de que casi todos los niños pequeños presenten algún concepto básico de número y de método para contar no significa forzosamente que sea esencial, ni siquiera beneficioso, empezar a enseñar matemáticas a los bebés. Aunque en los niños pequeños parecen existir capacidades matemáticas, y mucho más complejas de lo que imaginaba Piaget, éstas se limitan estrictamente a una aritmética muy elemental. Si el número de objetos a contar o de conjuntos a evaluar es superior a tres o cuatro, los niños comienzan a cometer errores.

Saber contar bien es en gran medida consecuencia de la preparación a cargo de los adultos durante los años de la enseñanza primaria, por lo que debe considerarse un ejemplo claro de transmisión cultural.

Capítulo 4

EL CEREBRO MATEMÁTICO

Los científicos cerebrales han estudiado cómo el cerebro procesa cálculos matemáticos y han observado que hay distintas regiones cerebrales especializadas en «cálculos aproximados» y cálculos exactos. Los pacientes con lesión cerebral que de repente han perdido sus destrezas matemáticas han desvelado mucho sobre estos procesos, al igual que los niños que no han llegado a adquirir dichas destrezas. Estos estudios también han aclarado diferencias entre los cerebros derecho e izquierdo así como diferencias de género. Según ciertos estudios realizados en individuos con lesiones cerebrales, el *lóbulo parietal*, implicado en la visión y el recuerdo de dónde están los objetos, está vinculado al conocimiento de los números y sus relaciones.

Una región cerebral para las matemáticas

Se sabe desde hace mucho tiempo que ciertos pacientes con lesión cerebral ya no son capaces de leer los números arábigos. Parece estrambótico, pero es posible que estos individuos lean 9 en lugar de 5, o 38 por 48. De algunos de estos pacientes se ha informado que, aunque a menudo confunden componentes de números, no se equivocan nunca con la cantidad decimal (la base) del número: no leen 30 en vez de 300. Otros presentan el patrón exactamente opuesto: no confunden jamás los números simples pero sí la base, de modo que quizá digan 36 por 360. Aquí tenemos un ejemplo de *disociación doble* (véase apéndice). En el primer caso existe un défi-

cit en la selección de palabras numéricas individuales, que en el segundo está intacta. En este segundo caso hay un problema en la comprensión conceptual de cantidad, que está intacta en el primero.

Brian Butterworth, de la Universidad de Londres, es uno de los científicos que estudia esta clase de pacientes para averiguar cuál es el fundamento cerebral de las matemáticas. La existencia de estos dos tipos de pacientes da a entender que hay una región cerebral en cierto modo especializada en la cantidad (a veces denominada *gramática numérica*), mientras que otra región distinta está especializada en la selección de palabras numéricas. En este capítulo describimos algunos de los experimentos clave que han ayudado a los científicos a comprender qué partes del cerebro están involucradas en los cálculos y los conceptos matemáticos.

No tiene demasiado sentido buscar una región cerebral que «haga» matemáticas. En las matemáticas hay diferentes aspectos, por ejemplo, la cantidad y el número. Tomemos la lectura de números. Existen dos clases de números que podemos leer: palabras numéricas («cinco») y cifras o dígitos («5»). La capacidad para leer ambos puede resultar selectivamente dañada debido a lesiones en diferentes regiones cerebrales. Unos pacientes pueden leer palabras numéricas pero no dígitos, mientras otros tienen el problema contrario. En general, las lesiones en la corteza visual del lado izquierdo del cerebro originan dificultades en la lectura de palabras, mientras que las lesiones en la corteza visual del lado derecho ocasionan problemas en la lectura de dígitos. Así pues, parece que el cerebro tiene varios sistemas encargados de los distintos aspectos del número y la cantidad, que por lo común funcionan conjuntamente integrando toda esta informamción para que tenga sentido como un todo.

Cálculo en el lóbulo parietal

Desde finales de la década de 1980, Stanislas Dehaene Y Laurent Cohen, de París, han estudiado pacientes con lesiones cerebrales y han revelado que pueden producirse distintos problemas matemáticos a raíz de daños en diferentes regiones del cerebro. Uno de los primeros pacientes que examinaron, llamado Sr. M., había sufrido una importante hemorragia cerebral y perdido la función de parte de la zona posterior del hemisferio izquierdo, concretamente el *lóbulo parietal* izquierdo.

La lesión era grave y le había dejado muchas discapacidades, incluyendo problemas aritméticos profundos. Era totalmente incapaz no sólo de realizar la suma más sencilla (como 2 + 2 = 4), sino también de reconocer números visualmente presentes. Por otro lado, los investigadores observaron que, cuando el Sr. M. trataba de nombrar números, a menudo daba con la respuesta correcta tras un rato de contar desde uno hasta el número presentado. Utilizaba el mismo método para contar desde uno hacia arriba a fin de llegar a números que significaran algo para él, como, por ejemplo, la edad de su hija. Indudablemente, el Sr. M. retenía una *representación* del número, pero le resultaba imposible recuperar y nombrar números inmediatamente después de la presentación del dígito o de una pregunta que requiriese como respuesta un número exacto.

Ahora bien, aunque el cálculo del Sr. M. era deficiente y él no podía reconocer números al instante, los médicos que lo examinaban observaron que no tenía la misma dificultad con la estimación de cantidades. Por ejemplo, el Sr. M. sabía que diez era mayor que cinco. El único problema que tenía al comparar números surgía cuando se le pedía que comparara números próximos, como 34 y 36. El Sr. M. era también capaz de aproximarse al tiempo y a las cantidades: si se le preguntaba cuántos días tenía un año, contestaba que un año tenía «unos 350 días». Decía también que en una hora había «unos 50 minutos» y que en una docena de huevos había aproximadamente «6 o 10». Sus respuestas no eran del todo correctas, pero no andaban tan lejos. No sabía sumar 2 + 2, pero en cambio sabía con seguridad que la respuesta no era 9.

Dehaene y Cohen llegaron a la conclusión de que, aunque la lesión parietal izquierda había provocado en el paciente la pérdida de sus capacidades de cálculo, no había dañado su capacidad de estimación. Este paciente y otros como él dan a entender que los procesos requeridos para realizar cálculos exactos residen en algún lugar del hemisferio izquierdo, tal vez en el lóbulo parietal, que en el caso del Sr. M. estaba dañado. Una región cerebral distinta, probablemente

el hemisferio derecho, que en el caso del Sr. M. debe de estar todavía intacto, parece subyacer a la estimación aproximada del número.

Pese a que los pacientes con el lóbulo parietal lesionado tienen graves problemas para reconocer y calcular números, a menudo las dificultades no son tantas cuando algo no numérico presenta cierto orden numérico, como los días de la semana o las letras del alfabeto. Por ejemplo, el Sr. M. sabía al instante que en el alfabeto la A va antes que la C y que el martes va antes que el jueves. Sólo parece estar dañada la representación de números como índices exactos. El Sr. M. mostraba problemas concretos a la hora de restar números: operaciones tan sencillas como 5 – 2 lo desconcertaban.

LA LÍNEA DE NÚMEROS

Dehaene ha sugerido que esto podría deberse a que restar requiere pensar en números representados en una «línea de números», que va desde uno hasta el infinito, de izquierda a derecha (o de derecha a izquierda, según cuál sea el país de uno), con los números mayores a la derecha de los inferiores. Para la mayoría de nosotros resulta fácil imaginar esta línea, y muchos habremos aprendido sobre números utilizando una representación física de una línea así —por ejemplo, un ábaco.

En la actualidad aún se utiliza el ábaco, que es una técnica sumamente útil para aprender sobre números, concretamente sobre cómo sumarlos y restarlos. Imaginemos que no somos capaces de pensar en números en una línea así. Si no memorizáramos todas las posibles sumas y restas individuales, podría ser muy difícil sumarlos y restarlos. Esto es exactamente lo que Dehane y Cohen creen que pasó en el caso del Sr. M. (y otros individuos con lesiones en el lóbulo parietal). El Sr. M. ya no es capaz de imaginar números como representaciones en el espacio, o en una línea de números, razón por la cual le resulta tan difícil sumar y restar.

La corteza parietal (véase figura 4.1) está implicada críticamente en la representación del lugar donde se hallan las cosas que tenemos alrededor: esta capacidad se denomina *representación espacial* y es crucial en la vida cotidiana. Sin ella nos costaría muchísimo coger objetos, orientarnos por nuestro entorno, recordar dónde está cualquier cosa o prestar atención a partes determinadas del medio circundante.

Según Vincent Walsh, de la Universidad de Londres, la corteza parietal desempeña un papel importante en la representación de la magnitud. Esto es aplicable no sólo a los números y las cantidades sino también al tiempo y al espacio. La representación espacial guarda relación con las matemáticas. Desde Euclides y Pitágoras, la aritmética y la geometría han estado unidas. Si lo pensamos, la línea de números que utilizamos para contar, sumar y restar supone imaginar números y objetos en el espacio. En las culturas occidentales, generalmente se considera que el cero está en el punto situado más a la izquierda de la línea, de modo que cuanto más avanzamos hacia la derecha, mayores son los números. Las culturas en las que se escribe de derecha a izquierda, por ejemplo, las que hablan árabe o urdu, tienen una línea numérica que va de derecha a izquierda.

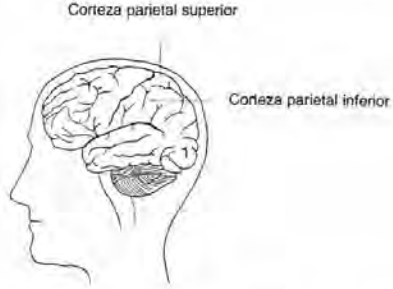


FIGURA 4.1. *La corteza parietal, que puede dividirse en las secciones superior e inferior, está implicada en las manipulaciones espaciales y en la comprensión numérica y aritmética.*

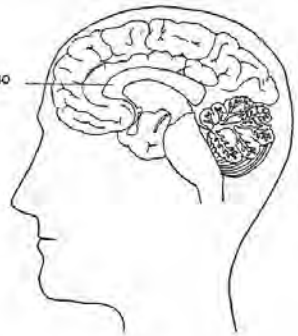


FIGURA 4.2. *El cuerpo calloso es una masa de fibras que radica en la parte central del cerebro y conecta los dos hemisferios, permitiendo que estos se comuniquen entre sí instantánea y continuamente.*

Por lo común, en los test de aptitud la gente presenta claras correlaciones entre la capacidad matemática y la capacidad espacial. En otras palabras, los que exhiben una buena capacidad espacial —es decir, tienen un buen sentido de la orientación y recuerdan fácilmente su camino en entornos complicados— a menudo, aunque no siempre, tienen también buenas destrezas matemáticas. Tal vez posean una corteza parietal especialmente bien desarrollada. Puede que al nacer haya diferencias, o que las diferencias estén vinculadas a experiencias específicas. En principio, para resolver estas cuestiones sería conveniente disponer de datos de estudios con neuroimágenes. Pero estos aún no se han llevado a cabo.

Los dos lados del cerebro

Además de implicar al lóbulo parietal en el cálculo, el estudio del Sr. M. sugiere también que los diferentes lados del cerebro (los *hemisferios*) podrían ser responsables de distintos componentes de las matemáticas y la cantidad. La idea de que

los dos hemisferios tengan funciones diferentes es una posibilidad fascinante que ha interesado a los científicos durante décadas. Por lo general, los dos lados del cerebro trabajan juntos, comparando y procesando continuamente información que es transferida desde un lado al otro mediante una masa de fibras que conecta los dos hemisferios y recibe el nombre de *cuerpo calloso*.

Para estudiar los distintos lados del cerebro, los científicos han analizado a pacientes cuyos hemisferios derecho e izquierdo han dejado de estar conectados y, por lo tanto, funcionan independientemente el uno del otro. Estos individuos, de los que hay muy pocos en el mundo, tienen el cuerpo calloso dañado o se les ha extirpado quirúrgicamente en un intento de poner remedio a una epilepsia de difícil cura. Como consecuencia de ello, el cerebro está realmente dividido en dos mitades —se les conoce como pacientes de cerebro hendido—. Aunque la operación logra reducir claramente los ataques epilépticos, actualmente no se llevaría a cabo porque es un procedimiento demasiado drástico. Por lo visto, lesionar siquiera una pequeña sección del cuerpo calloso ocasiona tanto provecho como cortarlo todo. En los pacientes de cerebro hendido, las dos mitades del cerebro funcionan de manera aislada, pues ya no son capaces de comunicarse entre sí. El estudio de pacientes de cerebro hendido ha revelado muchísimas cosas sobre los diferentes papeles de los dos hemisferios cerebrales.

Recordemos (capítulo 1) que la información transmitida al lado derecho del cuerpo, como el contacto con el brazo derecho o la visión de algo situado en el lado derecho, es procesada por el lado izquierdo del cerebro. Por lo general, la información procesada en un hemisferio es enviada rápidamente —en el espacio de escasos milisegundos— al otro hemisferio a través del cuerpo calloso. Habida cuenta de que en los pacientes de cerebro hendido no es posible esta transmisión de información, puede investigarse el funcionamiento aislado de uno de los hemisferios presentando un estímulo en el lado opuesto del cuerpo. Desde hace más de un siglo se sabe que, en la mayoría de las personas, el lenguaje reside en el hemisferio izquierdo. Aunque esto es cierto para los individuos diestros, no suele serlo normalmente en el caso de los zurdos, en quienes el lenguaje suele estar alojado en ambos hemisferios. Si se

muestra un objeto, pongamos una manzana, en el lado izquierdo de un paciente de cerebro hendido (que está mirando al frente), esta información sólo va al hemisferio derecho, y el paciente es incapaz de nombrar el objeto. El paciente no exhibe esta dificultad para nombrar si la manzana se presenta en el lado derecho, en cuyo caso la información visual es enviada al hemisferio izquierdo (el del lenguaje).

COMPARACIONES DE CANTIDADES

Los pacientes de cerebro hendido son incapaces de comparar dos números si uno se presenta en un hemisferio y el otro en el otro. No encuentran el modo de integrar esta información, por lo que para ellos comparar carece de sentido. No obstante, si los dos números aparecen juntos en el mismo lado, al individuo no le cuesta nada determinar cuál es más pequeño. Esto se cumple en ambos lados. La comparación es ligeramente inferior en el hemisferio derecho que en el izquierdo, si bien la diferencia es mínima. Esto pone de manifiesto que ambos hemisferios son capaces de reconocer y comparar dígitos. Comparar cantidades no se basa en el lenguaje. Si así fuera, el hemisferio derecho sería incapaz de efectuar dicha operación.

CÁLCULOS APROXIMADOS

Sin embargo, el hemisferio derecho no es capaz de identificar números escritos, por ejemplo «sesenta y cuatro». El hemisferio derecho sabe qué significa 6, que es inferior a 8, que representa seis puntos, pero este conocimiento se desvanece completamente cuando se trata de la palabra «seis». El hemisferio derecho tampoco puede por sí solo nombrar dígitos y realizar cálculos aritméticos. El hemisferio izquierdo puede sumar 2 + 5, pero para los individuos de cerebro hendido esto es imposible si las sumas se muestran en el hemisferio derecho. El hemisferio izquierdo puede multiplicar mientras que el derecho no. Esto no es sorprendente. En la mayoría de las sociedades, la multiplicación está claramente vinculada al lenguaje. En casi todas las culturas, para saber

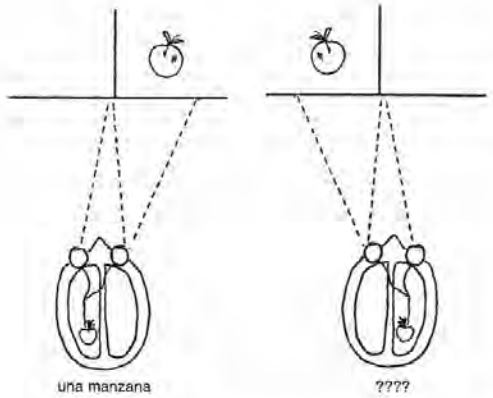


FIGURA 4.3. *En los pacientes de cerebro hendido ha sido extirpado quirúrgicamente el cuerpo calloso, normalmente en un intento de tratar una epilepsia de difícil cura. El resultado es que los dos hemisferios están separados y ya no pueden comunicarse entre sí. Estos individuos pueden nombrar objetos mostrados en su campo visual derecho, pues estos son procesados por el hemisferio cerebral izquierdo (el del lenguaje). No es posible nombrar los objetos presentados en el campo visual izquierdo porque el hemisferio derecho es incapaz de producir lenguaje. Los ojos y la nariz indican la parte delantera de la cabeza. La imagen es una visión desde arriba.*

multiplicar los niños se aprenden las tablas de memoria. Así pues, ¡sólo el hemisferio izquierdo (el del lenguaje) se sabe las tablas de multiplicar!

No obstante, el hemisferio derecho puede efectuar estimaciones. Los pacientes de cerebro hendido saben que sumas obviamente erróneas como 4 + 6 = 23 son incorrectas incluso cuando se les muestran en el hemisferio derecho. Por tanto, parece que el hemisferio derecho hace estimaciones mientras que el izquierdo calcula. Así pues, no sorprende que el Sr. M., que sufría una lesión masiva en su hemisferio izquierdo posterior, fuera incapaz de calcular pero en cambio no tuviera dificultades para hacer estimaciones aproximadas.

Las investigaciones con pacientes de cerebro hendido nos han permitido conocer mucho mejor el funcionamiento de los dos hemisferios cerebrales. Este conocimiento se ha infiltrado en la cultura dominante, pero, por desgracia, los estudios han sido interpretados con cierto desenfado. Hoy día se cree comúnmente que cada lado del cerebro controla distintos «modos de pensar» y que cada persona tiene una preferencia por uno u otro, es decir, que un hemisferio domina sobre el otro. Se califica a los individuos «de cerebro izquierdo», «de cerebro derecho», o incluso «de cerebro entero». Es posible incluso encontrar «cuestionarios de dominancia hemisférica» que podemos rellenar para averiguar si somos «de cerebro izquierdo» o «de cerebro derecho», para a continuación hacer ejercicios a fin de cambiar la situación. Esto es psicología popular, no psicología científica. Aunque es cierto que un hemisferio domina sobre el otro en lo que respecta a nuestra experiencia del mundo y nuestras acciones, ambos lados del cerebro funcionan juntos en casi todos los procesos, situaciones y tareas. En otras palabras, no somos ni de cerebro derecho ni de cerebro izquierdo. Utilizamos los dos lados.

Se ha afirmado que actualmente la educación favorece los modos de pensar de cerebro izquierdo, que son lógicos, analíticos, dominantes y precisos, al tiempo que quita importancia a los modos de pensar de cerebro derecho, que son creativos, intuitivos, emocionales y subjetivos. Aunque seguramente es algo bueno alentar a la educación a abarcar una gran variedad de tareas, destrezas, aprendizajes y modos de pensar, es puramente metafórico denominar a estos modos de pensar «de cerebro derecho» o «de cerebro izquierdo». Las personas que no tienen hemisferio derecho no están desprovistas de creatividad. Las que no tienen hemisferio izquierdo, si bien la mayoría de ellas son incapaces de producir lenguaje, aún pueden ser analíticas. Algunas incluso serán capaces de hablar, pues en una pequeña proporción de personas (alrededor del 7 %) el lenguaje está alojado en el hemisferio derecho.

Es discutible que las ideas de cerebro izquierdo/cerebro derecho deban influir en el tipo de educación que recibe la gente. La mayoría de los neurocientíficos ponen en entredicho

la validez de la clasificación en función de las capacidades como persona de cerebro izquierdo o de cerebro derecho. En lo que respecta a la educación, esta clasificación podría suponer incluso un impedimento para el aprendizaje.

Formación de imágenes mentales de matemáticas

Hasta ahora hemos analizado estudios sobre comprensión matemática en individuos con el cerebro dañado. Ciertos estudios de neuroimágenes han revelado que, en las personas con un cerebro normal y sano, durante el cálculo está activado el lóbulo parietal. El primer estudio de imágenes que puso de manifiesto la implicación del lóbulo parietal en las matemáticas fue llevado a cabo en Suecia en la década de 1980. Desde entonces, muchos más estudios de imágenes —en los que se han utilizado diferentes técnicas y tipos de tareas— han respaldado este resultado pionero. El lóbulo parietal, concretamente la parte *inferior* del hemisferio derecho, se activa cuando los participantes comparan números y también cuando los restan y suman. Tal como hemos visto, el lóbulo parietal tiene que ver críticamente con el conocimiento del lugar donde se hallan las cosas en el espacio. Su implicación en el cálculo encaja con la idea de que éste contiene un elemento espacial.

El *lóbulo parietal inferior* está activado tanto en la multiplicación como en la comparación. De hecho, su nivel de activación parece depender en ambos casos de la dificultad de la tarea matemática. Además del lóbulo parietal, se observan algunas diferencias más cuando los participantes hacen multiplicaciones en vez de comparaciones. Durante la multiplicación se produce en la activación cerebral un cambio hacia el hemisferio izquierdo, mientras que, durante la comparación, tiene lugar activación en ambos hemisferios con una ligera preferencia por el derecho. Esto concuerda con la idea de que la multiplicación, aunque no la comparación, depende de las regiones del hemisferio izquierdo relacionadas con el lenguaje. Como ya hemos señalado, en casi todos los sistemas educativos se aprende a multiplicar de memoria, lo que nos recuerda el aprendizaje del vocabulario de una lengua.

FIGURA 4.4. *Los cálculos matemáticos activan la corteza parietal.*

En una fase muy temprana del desarrollo, e incluso en otras especies, existe ya una capacidad básica de comparar números y un sistema básico de representación de cantidades. Ciertos estudios conductuales han revelado que la percepción, la discriminación y el cálculo elemental con números están presentes a una edad muy temprana, tal como mencionamos en el capítulo 3. La capacidad para comparar números depende de un sistema no verbal de representación localizado principalmente en el lóbulo parietal. Para las comparaciones y las estimaciones de cantidad, no hace falta convertir los números en palabras, lo cual dependería del hemisferio izquierdo. Como se ha demostrado en los experimentos con pacientes de cerebro hendido que hemos visto antes, ambos hemisferios son capaces de llevar a cabo la tarea de hacer comparaciones y estimaciones numéricas.

CÁLCULO, APROXIMACIÓN Y LENGUAJE

Datos recientes procuran un nuevo respaldo a la idea de que el cálculo exacto depende del lenguaje, mientras que la aproximación se basa en redes cerebrales espaciales y visuales

no verbales. Stanislas Dehaene, Liz Spelke y sus colegas enseñaron a voluntarios bilingües a efectuar estimaciones y cálculos exactos en una de sus dos lenguas. A continuación, los investigadores examinaron a los voluntarios en ambos idiomas. La ejecución de los problemas exactos era más rápida en la lengua usada por los individuos cuando aprendieron a calcular que en la segunda lengua, aunque actualmente usaran ésta con mucha frecuencia. Por contraste, en las aproximaciones el desempeño era equivalente en los dos idiomas. Los datos de las neuroimágenes confirmaban estos resultados conductuales: el lóbulo parietal de ambos hemisferios presentaba una mayor activación en las aproximaciones que en los cálculos exactos, durante los cuales se observó una activación adicional en las áreas lingüísticas cerebrales.

Los datos dan a entender que, en los adultos, la facilidad para el cálculo probablemente depende de una interacción constante entre representaciones de cantidad, visuales y verbales de los números. Los cálculos de memoria se realizan en buena parte mediante el sistema verbal, mientras que las aproximaciones se hacen utilizando el sistema de cantidades.

Diferencias de género y matemáticas

Muchos estudios han puesto de relieve indicios de diferencias de género en la capacidad matemática. No obstante, aunque existan, sin duda estas diferencias no son puramente biológicas. De una cultura a otra se aprecian variaciones en la magnitud del efecto del género. Mientras que los chicos superan a las chicas tanto en China como en los EE.UU., las chicas chinas tienen un mejor desempeño que los chicos de los EE.UU. Esto no es una diferencia biológica entre los chinos y los americanos: cuando las chinas van a la escuela en los Estados Unidos, su capacidad matemática disminuye hasta el nivel de las americanas.

Si hay diferencias sexuales en matemáticas, hay también un elevado grado de coincidencia: muchas chicas de todos los países rinden más que muchos chicos. En un reciente análisis de hallazgos de distintos estudios se ha observado que en los últimos treinta años la distancia entre chicos y chicas se ha reducido a la mitad, claro indicio de que las diferencias de

género están inducidas socialmente al menos en parte. En los últimos años, en el Reino Unido, en general las chicas han superado a los chicos en los exámenes nacionales de matemáticas (y en muchos otros terrenos) a las edades de 16 y 18 años. Esta tendencia de las chicas a superar a los chicos en matemáticas en la secundaria también se está produciendo actualmente en los EE.UU.

Ciertas investigaciones sobre diferencias de género en el cerebro han revelado ligeras disparidades entre el cerebro masculino y el femenino. De todos modos, muchos de los resultados son equívocos y hay poco acuerdo respecto a los que significan las diferencias. Aún se sabe menos sobre el ritmo del desarrollo de cualquier diferencia neurológica de género. Uno de los resultados más sistemáticos es que el cerebro masculino es más voluminoso en los *lóbulos temporales*, que comprenden la *amígdala* y el *hipocampo*. Esto se ha reproducido recientemente en un importante estudio llevado a cabo por Tina Good y sus colegas de Londres, que están investigando diferencias cerebrales estructurales entre los sexos. Good y su equipo también han observado que la *corteza cingulada anterior* es más abultada en las mujeres. Asimismo, en un estudio reciente de Ruben Gur y sus colegas de Filadelfia se ha informado de que la *corteza orbitofrontal* es más grande en las mujeres que en los hombres. Tanto la corteza cingulada anterior como la corteza orbitofrontal están claramente implicadas en el procesamiento emocional en contextos sociales y no sociales. Su mayor tamaño en las mujeres con respecto a los hombres quizá refleje las diferencias sexuales en el procesamiento de las emociones. Por ejemplo, las mujeres suelen superar a los hombres en los test de percepción y sensibilidad emocional.

La idea de que los cerebros masculino y femenino han evolucionado para asumir papeles distintos ha sido desarrollada recientemente por Simon Baron-Cohen, de la Universidad de Cambridge, quien sostiene que los hombres tienen tendencia a analizar y construir sistemas mientras las mujeres están predispuestas a mostrar empatía. Baron-Cohen sugiere que estas diferencias sexuales aparecen por causas más biológicas que culturales. De todos modos, la cuestión importante a recordar es que aunque muchos hombres tienen un cerebro típicamente «masculino» y muchas mujeres lo tienen típicamente «femenino», existe mucha coincidencia entre los dos géneros.

En lo referente a las diferencias de activación cerebral entre los cerebros masculino y femenino, un hallazgo bastante sistemático es que, durante las tareas lingüísticas, el *plano temporal* izquierdo (un área del lenguaje) está más activado en los hombres que en las mujeres. Aunque es aún controvertida, una posibilidad es que el cerebro de los hombres esté más *lateralizado* (o que sea más asimétrico) que el de las mujeres, que en los cometidos lingüísticos utilizan ambos hemisferios. Esto podría corresponder a diferencias sexuales observadas en acciones relativas al lenguaje: varios investigadores han advertido que las mujeres superan a los hombres en las tareas verbales. Por contraste, parece que los hombres son más competentes que las mujeres en las tareas espaciales.

Estas diferencias sexuales se han vinculado a diferencias hormonales. En un estudio realizado por Doreen Kimura y sus colegas de la Universidad de Western Ontario se investigaron capacidades espaciales de las mujeres durante sus ciclos hormonales mensuales. El principal hallazgo fue que la capacidad espacial de las mujeres era inversamente proporcional al nivel de estrógeno, la hormona sexual femenina. Un estudio más reciente ha revelado que la testosterona, la hormona sexual masculina, mejora la memoria espacial e incrementa el tamaño del hipocampo tanto en las aves macho como en las aves hembra.

Entre los géneros existen diferencias cerebrales, pero de un individuo a otro las diferencias son incluso mayores. Tradicionalmente, se ha considerado que las capacidades espaciales son una esfera de excelencia masculina. Un cierto número de mujeres y algunos hombres que conocemos nos han confesado sin reparos que se les da bastante mal interpretar mapas y no son capaces de recordar recorridos. Las matemáticas conllevan manipulación espacial, lo cual podría explicar por qué desde siempre los chicos han superado a las chicas en matemáticas y estas generalmente han demostrado ser más aptas que los chicos en los exámenes de lengua.

Los estudios sobre diferencias cerebrales y cognitivas entre los sexos dan a entender que algo hay de verdad en los famosos estereotipos de género. Si esto se confirma, podría tener repercusiones en la enseñanza de materias que incluyen

destrezas espaciales o verbales, por ejemplo, las matemáticas y los idiomas, respectivamente. Desde luego aquí no estamos hablando de niveles normales de capacidad sino de niveles extremos (de alta o baja capacidad), con independencia del género, aunque la proporción de chicos y chicas en estos extremos puede diferir. Una estrategia podría ser desarrollar programas informáticos que soslayen la necesidad de destrezas en los individuos que carecen de las mismas. Sería algo así como las gafas para los cortos de vista.

Discalculia

Muy distinta de las diferencias de género es la observación de que a algunas personas se les dan realmente mal los números. Pueden ser hombres o mujeres, y actualmente no se conoce la frecuencia de estos casos. Su rasgo característico es que la capacidad de cálculo aritmético no llega a desarrollarse pese a la excelente enseñanza y al buen input ambiental. Brian Butterworth, de la Universidad de Londres, ha estudiado estos casos y ha observado que el problema viene de familia. Es posible que los miembros afectados no sean capaces de, entre dos números dados —por ejemplo, 26 y 31—, estimar cuál es el mayor. Tampoco son capaces de decir con sólo echar un vistazo si han caído fuera de la caja dos cerillas o cinco.

Cabe sospechar que hay una sutil anomalía cerebral tras este trastorno específico y persistente, al que aludimos a menudo como *discalculia del desarrollo*. Naturalmente, las dificultades graves y continuas con las matemáticas no tienen por qué deberse a problemas neurológicos sino que pueden producirse por otras razones, entre ellas la ansiedad. Sea cual fuere la causa, las estrategias educacionales inspiradas por estudios psicológicos y cerebrales sobre el procesamiento de los números podrían ayudar a sortear o superar los déficits. Estas estrategias serían diferentes si las causas también lo fueran, de ahí la importancia de buscar las causas.

En los niños con *discalculia*, la capacidad para adquirir destrezas aritméticas está dañada en un grado de moderado a grave. Puede que estos niños tengan dificultades para comprender problemas matemáticos incluso muy sencillos tanto en la escuela como en otros contextos, como cuando com-

prueban la factura de la tienda, cuentan el cambio o calculan cuánto tiempo tardarán en realizar determinadas actividades. Los niños con discalculia describen las matemáticas y el cálculo como un lenguaje diferente que no conocen. Para un niño discalcúlico, las matemáticas y el concepto de número son tan incomprensibles como el idioma chino para alguien que jamás lo haya estudiado. Como es lógico, los niños discalcúlicos a menudo se sienten muy frustrados y ansiosos en las clases de matemáticas y en cualquier parte donde se requiera algún tipo de cálculo. Estos impedimentos matemáticos son especialmente penosos porque los niños a menudo están motivados y tienen una inteligencia normal, incluso por encima de la media. A veces la discalculia aparece en niños con dislexia. No se sabe por qué ni cómo en ocasiones estos dos trastornos están relacionados.

La discalculia del desarrollo puede aparecer por diversas razones. Con toda evidencia, el cerebro tiene un *cableado duro* para poder calcular —los recién nacidos tienen capacidades numéricas básicas—. Los bebés distinguen entre números pequeños y objetos e incluso parecen ser capaces de hacer cálculos matemáticos sencillos. Saben que una muñeca más otra muñeca son dos muñecas, y no tres o cuatro. Parece haber un conocimiento innato del concepto de número. Una de las hipótesis predominantes para explicar la discalculia, propuesta por separado por dos de los expertos mundiales en capacidad matemática y cerebro —Stanislas Dehaene y Brian Butterworth—, es la falta de este sentido innato del número.

Ello acaso se deba a que falta uno de los principales mecanismos de arrancada para el aprendizaje rápido de la cantidad y el número. Esta clase de mecanismo recibe a menudo el nombre de *módulo*. Quizá el módulo no logre desarrollarse como es debido a causa de alguna lesión cerebral temprana o alguna desorganización genética de los circuitos neurales subyacentes. En el cerebro adulto, ciertos estudios de pacientes con lesiones cerebrales y experimentos con neuroimágenes han indicado que la corteza parietal izquierda y derecha, implicada en el procesamiento visoespacial, está relacionada con el conocimiento de cantidades y sus relaciones. En los adultos, ciertas lesiones del lóbulo parietal provocadas por apoplejía o daño cerebral pueden originar discalculia. Algunos niños parecen

sufrir un déficit temprano en la representación de la cantidad en el lóbulo parietal, por lo que carecen de intuición de la cantidad. Por otra parte, o además de este posible déficit del lóbulo parietal, puede que las conexiones entre los conceptos de cantidad y número exacto no lleguen a desarrollarse debidamente. Por ejemplo, un niño quizá se aprenda de memoria el algoritmo de la sustracción pero luego tal vez no sepa conectarlo con sus intuiciones sobre la cantidad, lo que se traducirá en errores graves.

ENSEÑAR MATEMÁTICAS A NIÑOS DISCALCÚLICOS

Tanto si la discalculia se debe a lesiones en una determinada región cerebral como si es causada por errores en el desarrollo de conexiones entre componentes del sistema matemático del cerebro, los estudios psicológicos y neurocientíficos sobre el procesamiento de los números deben inspirar las estrategias educativas. En los casos en que exista un defecto neurológico, evidentemente será un error presuponer un simple problema de motivación. Aquí se precisan estrategias para sortear la destreza que falta.

Nuestra suposición es que un mecanismo defectuoso de arrancada para el aprendizaje rápido no impide el aprendizaje lento. Y, en efecto, es aquí donde la enseñanza compensatoria puede hacer grandes aportaciones. Lo esencial es enseñar mediante la repetición lenta y paciente de elementos básicos que normalmente se dan por sentados, amén de proporcionar reglas explícitas. Esto supone un esfuerzo considerable, y no equivale a instalar las reglas implícitas y la intuición que faltan. No obstante, es algo sumamente práctico. Al final, el individuo discalcúlico será capaz de realizar y verificar operaciones básicas.

Hacen falta más estudios con imágenes cerebrales para revelar precisamente qué procesos compensatorios utilizan los individuos que han hecho progresos. Este conocimiento podría inspirar la creación de mejores programas de enseñanza. Desde un punto de vista especulativo, damos por supuesto que, para una buena compensación, son necesarios recursos intelectuales generales. No a todos los niños les sobran este tipo de recursos, y no es justo pedirles que hagan un esfuerzo adicional continuado. Cada vez que hablemos de trastornos del desarrollo, mencionaremos los costes de la compensación. Existe una alternativa: pleno apoyo por medios externos. En el caso de la discalculia, ya tenemos calculadoras electrónicas, y puede haber otros instrumentos que ayuden en los cálculos aproximados. Las ciencias cerebrales acaso lleguen a ser un aliado de los que diseñan y ensayan programas futuros. Estos quizá tengan efectos a largo plazo en la reorganización cerebral, igual que seguramente los tiene la educación convencional.

Capítulo 5

EL CEREBRO ALFABETIZADO

Las consecuencias que la capacidad de leer y escribir tiene en nuestra vida social, política y económica son enormes. Para la mayoría de nosotros, estar privados del mundo escrito sería una restricción intolerable, y ello pese a que saber leer y escribir es una destreza enseñada de manera artificial. Para los alfabetizados, leer y escribir es algo tan natural como hablar y escuchar. En este capítulo describimos investigaciones cerebrales recientes sobre la capacidad de leer y escribir, y ponemos de manifiesto que ésta tiene profundas consecuencias en el moldeado del cerebro humano. En el próximo capítulo analizaremos la carga que supone ser disléxico en una sociedad alfabetizada.

Breve historia de la escritura

Muchas personas consideran que la invención de la escritura es uno de los avances más importantes en la historia de la humanidad. La escritura comenzó hace unos 5.000 años por separado en Sumeria, parte de Mesopotamia, y en China. Su difusión por todas las culturas ha sido rápida, y recientemente su extensión a los individuos se ha acelerado de tal modo que la alfabetización universal puede considerarse como un derecho humano fundamental. El curso de la historia de la escritura no ha estado exento de obstáculos, habiendo distintas formas de representar el lenguaje en una forma visible. Algunos ejemplos muy antiguos de escritura son pictóricos, y los más antiguos de todos, descubiertos en Mesopotamia, eran mode-

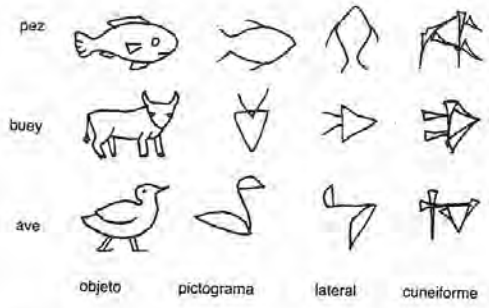


FIGURA 5.1. *Los ejemplos más antiguos de escritura eran modelos en arcilla de objetos o animales, que se simplificaron hasta convertirse en garabatos en la arcilla. Primero se dibujaba el objeto exacto, y luego se utilizaban representaciones más estilizadas del mismo.*

los en arcilla. Así, si un individuo quería vender seis ovejas a otro de otra ciudad, podía mandar a un intermediario, el cual llevaría consigo, además de las ovejas, un molde sellado que contendría seis pequeñas ovejas de arcilla. Este ingenioso método permitía dejar constancia del artículo comercializado protegiendo al mismo tiempo contra el fraude.

Podemos imaginar fácilmente que este método podía simplificarse reduciendo las formas de arcilla a garabatos sencillos en la misma arcilla. Estas marcas se endurecerían y podrían representar toda clase de objetos y episodios que sería posible leer a gran distancia de su lugar de origen, y lo que es más, mucho tiempo después. De este modo, la escritura incrementó muchísimo la capacidad de transmitir conocimientos de una generación a otra.

Antes de la escritura, había existido lenguaje hablado desde hacía decenas de miles de años. Del habla, aunque esté bien expresada y tenga un fuerte impacto emocional, no queda constancia permanente. De la escritura sí. El habla depende de la memoria y, aunque puede transmitirse en forma épica o cantada, no deja de ser un modo de comunicación efímero. Cuando se elaboraban leyes, era útil grabarlas en pie-

dra. Así pues, uno de los códigos más antiguos, el famoso código de Hammurabi, rey de Babilonia (siglo XVIII a.C.), está escrito con caracteres cuneiformes en granito duro y todavía hoy es posible admirarlo en el Museo del Louvre de París. El código era acatado como reglamento que definía los delitos y establecía los límites para su castigo. He aquí un ejemplo: «Si alguien es demasiado perezoso para mantener su dique en buenas condiciones, y no lo mantiene; si el dique se rompe y los campos quedan anegados, entonces aquel cuyo dique se ha roto será vendido, y el dinero sustituirá el grano que se ha echado a perder.» Esto era un documento permanente para que todos lo entendieran como un aviso y se remitieran a él en caso necesario.

No obstante, la escritura no expresa con precisión las mismas cosas que el habla. Es un código que transmite sólo unos aspectos del lenguaje y no otros. Por ejemplo, el lenguaje escrito no refleja la melodía o la prosodia de las frases habladas. Por lo general, no transmite las pautas de acentuación de las palabras (en el caso del inglés, en el que no hay acentos): hemos de conjeturar si pone pro*ject* o pro*ject* y usar la información que nos proporciona el contexto. El chino y los antiguos jeroglíficos egipcios, por ejemplo, ante todo hacen corresponder signos abstractos e imágenes rudimentarias con significados lingüísticos. Otras lenguas han desarrollado sistemas de escritura que fundamentalmente establecen correspondencias entre signos visibles y sonidos del habla. Aquí se han seguido dos caminos muy diferentes. Varias lenguas indias utilizan un silabario: cada sílaba existente en el idioma tiene un símbolo reconocible. Por ejemplo, tenemos símbolos individuales para ki, ka, ke, ku; bi, ba, be, bu, etc. Esto funciona cuando el número total de sílabas es relativamente pequeño, es decir, no más de cien o así.

Como muestran los ejemplos ki, ka, ke, ku y bi, ba, be y bu, la sílaba es capaz de segmentarse en sonidos constituyentes más pequeños: consonantes y vocales. Podemos emplear muchos menos símbolos distintos, pongamos de veinte a treinta, para representar tantas sílabas como deseemos. Además, podemos utilizar estos símbolos para anotar cualquier palabra de cualquier lengua, de oído, aunque no contenga las sílabas a las que estamos habituados. En vez de ello, estamos utilizando pequeños fragmentos del habla: *fonemas*. La primera gran

FIGURA 5.2. *Herodes Ático, rico mecenas de las artes en la antigua Grecia, contrató a 24 esclavos, a cada uno de los cuales dio el nombre de una letra, para que ayudaran a su hijo a aprender el alfabeto.*

invención del alfabeto fue la de introducir símbolos para las consonantes, lo cual se atribuye a los fenicios de la costa mediterránea. Este pueblo conocía los jeroglíficos egipcios, pero los rehízo para que representaran los sonidos del habla más importantes de su propia lengua.

Hay que atribuir a los griegos la segunda invención importante del alfabeto: la introducción de signos gráficos para las vocales. Esto sólo incrementó ligeramente el conjunto de letras del alfabeto, y tuvo lugar en torno al año 500 a.C. Desde entonces, el alfabeto ha sido adoptado cada vez por más lenguas mientras que el número de letras apenas ha tenido que aumentar. Los romanos redujeron este número, y el orden que utilizaban para recitar el alfabeto es el mismo que usamos todavía en la actualidad.

En la Grecia y la Roma antiguas, lo primero que se hacía en la escuela era aprender el alfabeto. Alrededor de 150 d.C.,

un riquísimo mecenas de las artes, Herodes Ático, que en Atenas hizo construir un teatro que todavía hoy se conserva, tenía un hijo al que le costaba aprender el alfabeto. Al chico se le tenía por un inútil con muy mala memoria. El padre contrató a 24 esclavos, a cada uno de los cuales dio el nombre de una letra. Cabe suponer que a la larga el joven Ático aprendió los nombres de los esclavos a la vez que el alfabeto. De este modo, se dio un paso muy importante en su educación. Puede que Ático haya sido el primer disléxico de la historia del que hay constancia.

El legado del alfabeto

El aprendizaje del alfabeto sigue siendo la base de la alfabetización. Actualmente, incluso a los niños chinos se les enseña por regla general el alfabeto romano como ejercicio de puesta en marcha antes de iniciar la ardua tarea de aprender gradualmente miles de símbolos. Cada uno de estos símbolos tiene una rica historia y representa una mezcla de diferentes aspectos del lenguaje. No equivalen a las «palabras» en el sentido occidental, sino que son elementos de significado. Por lo común, estos elementos necesitan reunirse en vocablos compuestos que hacen las veces de palabras, las cuales posibilitan abundantes interpretaciones que incluyen alusiones históricas y retruécanos con otras palabras. La poesía china, aun siendo muy económica en su forma escrita, es famosa por contener numerosas capas de significado.

Los niños japoneses han de aprender tres sistemas de escritura diferentes: el sistema logográfico chino, conocido como Kanji; el silabario japonés, conocido como Kana; y, en los últimos años de la escuela, el alfabeto, denominado Romaji. ¡Si alguien hace menos que esto es considerado un inculto!, pues, de hecho, no estará totalmente alfabetizado, toda vez que, para comprender los distintos géneros literarios y los nombres de personas y lugares, hace falta utilizar todos los sistemas. Habida cuenta de la facilidad que hay para trasladar el alfabeto a caracteres de imprenta mediante un teclado, muchos de los que hablan japonés y chino usan a voluntad una versión alfabética de su lengua.

Aunque el sistema de escritura alfabética exhiba esta historia triunfal, no es necesariamente el más sencillo de aprender. Aprender a usar el alfabeto no resulta igual de fácil para todos. De la pequeña minoría que experimenta dificultades graves mientras aprende a leer y escribir se dice que padece dislexia. Sus integrantes jamás alcanzan el mismo grado de lectura y escritura fluidas que la mayoría de la gente. Quizá les iría mejor si pudieran utilizar un sistema de escritura basado en un silabario. Es posible, pues casi todo el mundo tiene la intuición de lo que es una sílaba.

Por lo general, en los sistemas alfabéticos la escritura es más sencilla porque el número de símbolos es pequeño, y por suerte sólo unas cuantas letras son confusas. Están las infames letras especulares: b, d, p, q. Casi todos los niños tienen dificultades para aprender y recordar cuál es cuál, aunque al final lo consiguen. Las letras confunden porque el cerebro está acostumbrado a funcionar en un mundo tridimensional, y hacerlo en un mundo de dos dimensiones en papel es una novedad. Pensemos en tres dimensiones e imaginemos b, d, p, q como objetos sólidos: son el mismo objeto dando vueltas en el espacio. Así pues, la primera vez que se encuentra con estas formas, el cerebro de un niño pequeño entra en conflicto —confusión garantizada.

El origen de las formas de las letras que utilizamos actualmente se remonta a los inicios de la escritura, cuando los escribas fenicios y griegos tomaron las formas de los jeroglíficos egipcios y las modificaron. Las formas de las letras han cambiado sorprendentemente poco desde que los romanos decidieron cuáles eran especialmente adecuadas para las inscripciones en piedra. Muchos aún consideran que esta es la forma más bella, y la fundición conocida como Times New Roman quizá sea actualmente la más comúnmente utilizada en el procesamiento de textos.

Lenguaje visible en el cerebro

El lenguaje visible crea un nuevo mundo de objetos, símbolos o letras, que tienen una relación legítima con el sonido del habla. Hay que aprender las correspondencias entre el habla y los símbolos, aprendizaje que tiene un impacto duradero en el cerebro. Así, el cerebro de quien sabe leer y escribir es distinto del de un analfabeto. Las personas alfabetizadas sólo necesitan mirar el texto impreso para saber lo que pone. De hecho, lo descodifican automáticamente, aunque no tengan intención de leerlo. Tenemos la demostración de que la lectura es automática e involuntaria en el famoso ejemplo que sigue. El paradigma de Stroop toma el nombre de un psicólogo holandés que vivió en la primera mitad del siglo XX. Stroop enseñó a varios individuos una lista de palabras escritas en diferentes colores y les pidió que nombraran el color de la tinta en que estaban escritas. A continuación midió el tiempo que tardaban en poner nombre al color de cada palabra. La trampa era que a veces la palabra era el nombre de un color que no coincidía con el color de la tinta en que estaba escrita (por ejemplo, la palabra «AZUL» podía estar escrita con tinta roja). Cuando el color de la tinta diferría del color designado por la palabra, la gente tardaba más que cuando no existía tal discordancia. Esto se debe a que antes de nombrar el color de la tinta leemos involuntariamente la palabra, y el significado nos viene a la cabeza espontáneamente. En cuanto uno ha aprendido a leer, no puede menos que leer palabras.

En general, se tarda mucho menos en leer una palabra que en poner nombre a una imagen. A muchos esto les resulta asombroso, pues de niños nombraban imágenes mucho antes de ser capaces de leer palabras. Una vez reconocemos la palabra escrita, el mundo ya no parece el mismo. Cuando tenemos el texto impreso delante de los ojos, nos sentimos impulsados a leerlo. Así pues, ¿aprender a leer supone una especie de «lavado de cerebro»?

COMPARACIÓN ENTRE GENTE QUE SABE LEER Y ESCRIBIR Y GENTE ANALFABETA

Si la alfabetización es una especie de lavado de cerebro, entonces de ahí debe resultar que el cerebro está organizado de manera distinta en los alfabetizados y en los analfabetos, lo cual acaso tenga consecuencias para toda suerte de cuestiones. Por ejemplo, la capacidad de leer y escribir quizá influya en el modo en que se procesa el habla, aun cuando ésta sólo se oiga.

No obstante, comparar gente analfabeta y alfabetizada no es fácil en lugares donde la escolarización no es sólo universal sino obligatoria.

Unos psicólogos de Portugal cayeron en la cuenta de que tenían la oportunidad de estudiar a personas que eran analfabetas por razones históricas y sociopolíticas. En Portugal, la escolarización no llegó a ser obligatoria hasta mediados del siglo XX. Especialmente en las zonas rurales remotas, los niños no iban a la escuela y acaso pensaran que ésta era una especie de tortura diabólica de la que habían tenido la fortuna de librarse.

Los investigadores Luz Cary, José Morais y sus colegas identificaron a personas que eran analfabetas y que lo habían seguido siendo durante toda su vida laboral. También identificaron a individuos que de algún modo habían sido capaces de aprovechar las oportunidades ofrecidas posteriormente por la vida para aprender a leer y escribir a un nivel mediano. Estas personas moderadamente alfabetizadas habían permanecido en las mismas áreas rurales, ocupados en las mismas actividades, por lo común agrícolas. Esto significaba que se podía hacer una comparación rigurosa entre ambos grupos, comparación que sería realmente sobre el efecto de la alfabetización en el cerebro, y no sobre el efecto de la escolarización durante la infancia.

Cary, Morais y sus colegas llevaron a cabo una serie de experimentos psicológicos con estos dos grupos peculiares de personas. Los experimentos utilizaron el lenguaje hablado, a veces imágenes, y pusieron de manifiesto diversas diferencias sorprendentes. Las consecuencias de la alfabetización eran especialmente claras cuando hacía falta descomponer los sonidos del habla, esto es, manipular *fonemas*. Por ejemplo, «qué es "raro" sin la primera "r"?» La respuesta, «aro», era fácil para los que sabían leer y escribir pero no para los analfabetos. Este estudio reveló por primera vez la idea de que la descomposición de palabras en sonidos más pequeños llega a tener sentido si podemos imaginar estos sonidos como letras. Al fin y al cabo, son estos fonemas los que se corresponden directamente con letras.

Pensemos en dos grupos de niños jugando cada uno con un pueblo de juguete. Un grupo dispone de casas de madera ya hechas y el otro de casas construidas con piezas de Lego. Para estos últimos, la ciudad será modificable hasta el infinito,

mientras que los primeros consideran sus casas como algo fijo e intacto. Para ellos carece de sentido la idea de poder quitar piezas y cambiar la forma de las casas.

El lavado de cerebro mediante la alfabetización es algo real. En cuanto uno domina el principio del alfabeto, cambia su percepción global del habla. Somos conscientes de que es posible descomponer los sonidos de las palabras y volver a reunirlos.

Se observó otro efecto del principio alfabético en un estudio realizado por Alexandre Castro-Caldas y sus colegas, en el cual participaban nuevamente individuos alfabetizados y analfabetos, a quienes se pedía que repitieran palabras reales y palabras inventadas carentes de sentido. Todos repetían bien las palabras reales, de modo que no se apreciaban diferencias entre el grupo de alfabetizados y el de analfabetos. No obstante, sí se advertía una diferencia curiosa cuando repetían palabras absurdas. Los analfabetos solían convertir éstas en palabras reales. Así, en vez de «banona», que no significa nada, quizá decían «banana», que sí tiene un significado. ¿Por qué no se limitaban a repetir las palabras absurdas, igual que el grupo alfabetizado? Las palabras sin sentido no desconcertaban a los integrantes de este grupo, pues ya estaban familiarizados con entidades de este tipo. Al fin y al cabo, los nombres de las letras son palabras sin significado, como «efe» o «hache». Además, tan pronto conocemos los principios básicos del alfabeto, disponemos de un método para formar palabras que no existen. Si no conocemos estos principios, sólo podemos considerar las palabras inventadas como existentes, bien que desconocidas.

¿HASTA QUÉ PUNTO ES DIFERENTE EL CEREBRO ALFABETIZADO?

Esos mismos individuos, ya en la sesentena, viajaron desde su zona rural en Portugal hasta el Instituto Karolinska, de Estocolmo, para que Martin Ingvar y sus colegas les hicieran un escáner del cerebro.

Cuando repetían no palabras, los voluntarios analfabetos activaban más intensamente los *lóbulos frontales*, las áreas cerebrales multiuso de resolución de problemas, y en especial las regiones conocidas por su implicación en la recuperación

de recuerdos. Los voluntarios alfabetizados activaban con más fuerza el *lóbulo temporal* izquierdo, el área cerebral dedicada específicamente al procesamiento del lenguaje. Es lo que cabía esperar, pues las personas analfabetas tratan las palabras absurdas como si fueran palabras reales, que habían entendido mal o que desconocían. De ahí que a veces las transformaran en reales, para lo cual generalmente buscaban este tipo de palabras en su memoria. Los alfabetizados trataban las no palabras con cierta indiferencia, como posibles aunque no reales. No hacía falta buscar en la memoria ni considerar la posibilidad de convertirlas en palabras reales.

Este excepcional experimento proporcionó una primera demostración de los cambios cerebrales que se deben a la alfabetización, poniendo de manifiesto que el cerebro alfabetizado reacciona de manera distinta incluso cuando sólo está escuchando hablar.

Repetimos, el sonido del habla es un factor clave de la lectura. A los buenos lectores, los que leen las palabras automáticamente, a menudo les pasa que se les ocurre el sonido de la palabra de manera espontánea. Podríamos pensar que leer en silencio es una tarea estrictamente visual, pero resulta que no. Los procesos utilizados por el cerebro cuando leemos en silencio son extraordinariamente parecidos a los utilizados cuando leemos en voz alta.

El sistema de lectura del cerebro, ¿depende de la lengua del lector?

No es sólo que aprender a leer y a escribir cambie el cerebro. Las demandas especializadas de idiomas concretos, como inglés, italiano o francés, suponen demandas específicas en la escritura. Aunque todas estas lenguas usan el mismo alfabeto, históricamente han desarrollado sistemas de escritura bastante distintos.

En teoría, el alfabeto garantiza que podamos pronunciar inmediatamente una palabra escrita en otra lengua, pero en la práctica el sistema de escritura de cada idioma incluye reglas adicionales de pronunciación. Unos sistemas de escritura tienen reglas más complejas que otros. Por ejemplo, comparemos el italiano y el inglés. El italiano tiene una ortografía regular y

muy transparente: lo que vemos es lo que decimos. Si pronunciamos en voz alta las letras poco a poco, al final la palabra entera sonará más o menos correctamente: Napoli, Milano, tortellini. En inglés, en cambio, la correspondencia entre las palabras y los sonidos dista mucho de ser sencilla y sería ridículo basarse en la pronunciación de las letras poquito a poco. ¿Qué pasaría si hiciéramos esto con «biscuit», «yacht» o «Leicester»? Y lo que es peor, en inglés las mismas combinaciones de letras pueden tener pronunciaciones muy diferentes. La palabra «wind» (viento), por ejemplo, suena de manera distinta en «The wind was blowing a gale» (Hacía un viento que te volaba) y en «We need to wind up the clock» (Hemos de darle cuerda al reloj).

Con el inglés hemos de crear un almacén de sonidos de palabras ligados a sus patrones precisos de ortografía; si no, no tenemos nada que hacer. ¿Cómo influye esto en el cerebro? Recordemos que incluso cuando leemos en silencio, la forma visual de la palabra no puede divorciarse de su sonido. Hay individuos que recuerdan el deletreo pronunciando en voz alta lo que ven —como si fueran italianos—. Por ejemplo, si ven escrita la palabra «parlamento», realmente oyen en su cabeza «par-la-men-to». Muchas personas, incluso las que deletrean estupendamente y no necesitan recurrir a estos trucos, sonríen sin embargo al oír rimas de palabras que no se deletrean igual. Por ejemplo:

There was an old woman of Gloucester,
Whose parrot two guineas it cost her. (anón.)

(Había en Gloucester una vieja,
cuyo loro le costó dos guineas.)

El sistema de lectura del cerebro y su ajuste

Para estudiar la adaptación del cerebro a estas diferencias en las reglas de deletreo, los investigadores Eraldo Paulesu, de Milán, Jean-François Demonet, de Toulouse, y Uta Frith, de Londres, llevaron a cabo un estudio europeo de colaboración. En una primera etapa, efectuaron escáneres de lectores competentes de inglés e italiano mientras estos leían

palabras simples en voz alta o en silencio, poniéndose de manifiesto que las regiones que componen el sistema de lectura del cerebro son exactamente las mismas en los ingleses y en los italianos. Este sistema, que también se ha observado en estudios realizados por otros grupos de investigación con hablantes de inglés, ocupa áreas importantes del hemisferio cerebral izquierdo, el lado dedicado al lenguaje y al habla. En la figura 5.3 aparece este sistema común, que puede dividirse en tres partes conectadas, una en la porción delantera de los *lóbulos frontales*, otra en el centro de la *corteza parietotemporal*, y otra en la zona posterior de los *lóbulos temporales*.

En el próximo apartado volveremos sobre estas diferentes regiones. En la figura 5.3 se aprecian las ligeras diferencias observadas entre los lectores italianos e ingleses. Aunque las tres regiones activadas eran las mismas, difería la importancia relativa dada a cada una durante la lectura. La segunda imagen muestra el área que estaba más activa en los lectores italianos. En la tercera vemos el área que estaba relativamente más activa en los lectores ingleses. El sistema de lectura está ajustado a las demandas concretas del sistema de escritura en cuestión.

En un estudio posterior, se efectuaron escáneres a lectores de habla francesa bajo condiciones idénticas. Activaban exactamente el mismo sistema que los otros dos grupos lingüísticos, pero en lo que respectaba al ajuste, se ponían de parte de los lectores ingleses. Al fin y al cabo, los franceses tienen un sistema de escritura bastante complejo, más parecido al inglés que al italiano. Esto se nota especialmente cuando intentamos deletrear mientras escribimos al dictado. Por ejemplo, los sonidos para *c'est* y *ces* o para *mais* y *mes* son exactamente los mismos.

¿QUÉ HACEN LAS TRES REGIONES DEL SISTEMA DE LECTURA?

Curiosamente, sobre el sistema de lectura del cerebro se sabe mucho. Durante los últimos ciento cincuenta años, han sido examinados muchos pacientes que han sufrido lesiones cerebrales en el lado izquierdo del cerebro, por lo general a causa de apoplejía. Algunos de estos pacientes habían perdido su capacidad de hablar; otros, sólo la de leer o escribir. Este conocimiento nos ayuda a ensamblar la función y la finalidad de las tres regiones del sistema de lectura. Nos permite asimismo comprender por qué el cerebro ha recurrido a estas áreas, y no a otras, para la tarea culturalmente adquirida de la alfabetización.

La región más frontal se denomina área de Broca en honor de Paul Broca, pionero francés en el campo de la neurología que dio a conocer el revolucionario caso de «Tan», hombre que, tras sufrir una apoplejía, sólo podía pronunciar la palabra «tan» y, por lo demás, había perdido el habla por completo. Aunque hay diferencias individuales en virtud de las cuales los límites precisos del área son inciertos, existe un acuerdo total respecto a que el habla depende de esta parte del lóbulo frontal. En el estudio europeo descrito antes, el área de Broca estaba activada tanto cuando los voluntarios leían palabras en voz alta como cuando lo hacían en silencio. Es como si el cerebro estuviera preparado para pronunciar las palabras inmediatamente.

La región central del sistema de lectura incluye el *área de Wernicke* y la *circunvolución angular*. El neurólogo alemán del siglo XIX Carl Wernicke, que estaba interesado en el lenguaje y sus fundamentos en el cerebro, examinó a pacientes que podían hablar pero no entendían el lenguaje. En estos pacientes, el área dañada, que se encuentra en el *plano temporal* del hemisferio izquierdo, recibe el nombre de *área de Wernicke*. El *plano temporal* despertó un interés especial en el neurólogo americano Norman Geschwind, quien en la década de 1960 advirtió que, en la mayoría de los cerebros que había tenido oportunidad de estudiar, era mayor en la izquierda que en la derecha. Numerosos estudios de pacientes pusieron de manifiesto que, cuando esta región resultaba dañada, el paciente ya no podía nombrar letras ni trascribir una palabra escrita al habla. Esta área parece especialmente importante para aprender el código alfabético. La *circunvolución angular*, en el lóbulo parietal, se halla a mitad de camino entre el área de Wernicke y la corteza visual. Tiene diversas funciones, entre ellas la vinculación de las palabras habladas y las palabras vistas.

¿Y qué pasa con la tercera área, situada en la base del lóbulo temporal izquierdo? Wernicke también atendió a

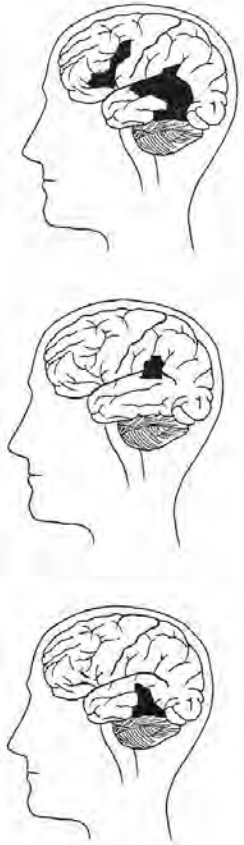


Figura 5.3. *Sistema de lectura del cerebro en inglés e italiano. En la figura de arriba vemos el sistema global de lectura para ambas lenguas a la vez. La del centro muestra que la región relacionada con la interpretación letra-sonido está más activa en los lectores italianos. En la inferior apreciamos que el área de la forma de las palabras, en la parte posterior, está más activa en los lectores ingleses.*

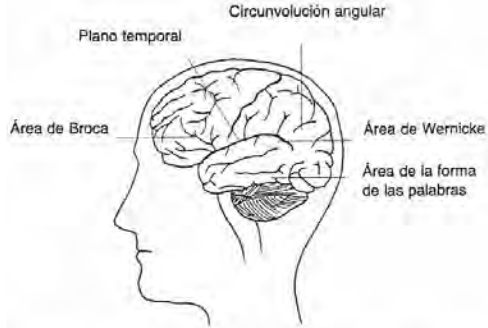


FIGURA 5.4. *El sistema de lectura del cerebro se compone de varias áreas diferentes. El* área de Broca *del lóbulo frontal está implicada en la producción de lenguaje hablado. El* área de Wernicke *se halla en el lóbulo temporal y tiene que ver con la descodificación del lenguaje. La* circunvolución angular *se encuentra en el lóbulo parietal y tiene muchas funciones, entre ellas la asociación entre palabras habladas y vistas. El* área visual de la forma de las palabras *reside en la base del lóbulo temporal izquierdo y está implicada en el procesamiento del deletreo, el sonido y el significado de las palabras.*

pacientes con lesiones en la *base* de dicho lóbulo, los cuales tenían grandes dificultades para deletrear y reconocer palabras enteras. No obstante, aún podían pronunciar en voz alta palabras partiendo de las letras. Wernicke sugirió que esta región tal vez controlaba el acceso a un diccionario donde estuvieran almacenados el deletreo, el sonido y el significado de cada palabra. El neurocientífico Stanislas Dehaene y su colega Laurent Cohen, de París, confirmaron que el área ubicada en la base del lóbulo temporal izquierdo tenía que ver efectivamente con las palabras enteras. La denominaron *área visual de la forma de las palabras*. Cathy Price y sus colegas de Londres han observado que esta región también está activa cuando la gente nombra imágenes o sonidos, como «timbre» o «sirena de niebla».

FIGURA 5.5. *El área de la forma de las palabras, implicada en el procesamiento del deletreo, el sonido y el significado de las palabras, está situada en posición adyacente a V4, el área visual responsable del procesamiento del color.*

EL SISTEMA DE LECTURA AJUSTADO

Hemos visto que el sistema de lectura puede dividirse en tres partes, cada una de las cuales tiene un papel característico. La parte frontal del sistema de lectura, el área de Broca, es el sistema básico de producción de habla del cerebro. La parte central, el área de Wernicke y la circunvolución angular, está activa durante la transcripción de letras y sonidos. El área posterior, la de la forma de las palabras, situada en la porción inferior del lóbulo temporal, es la región involucrada en el almacenamiento y la recuperación de palabras enteras.

Por fin podemos ya explicar la diferente importancia que tienen las distintas regiones del sistema de lectura en los lectores italianos, ingleses y franceses. Somos capaces de explicar este ajuste en función de los requisitos precisos de los sistemas de escritura inglés, francés e italiano, respectivamente. En inglés y en francés es más importante reconocer formas de palabras completas que transcribir letras en sonidos. En castellano o italiano, esto es menos importante, pues el sonido de la palabra entera se obtiene fácilmente a partir de la gradual transcripción de letras en sonidos. En consecuencia, los lectores italianos activan el área de transcripción más que los ingleses y franceses, quienes activan el área de la forma de las palabras más que los españoles o italianos.

De todos modos, los lectores en ambas lenguas utilizan ambas áreas, lo que sugiere que la lectura se basa en más de un proceso. Un aspecto fascinante de los distintos sistemas de escritura alfabética es que no han ido exclusivamente en una dirección u otra en una doble opción: usar el principio de transcribir siempre pequeñas unidades de sonido en letras («s-i-t» para «sit») o usar el principio de deletreos característicos para palabras enteras («cough» y no «c-o-f»). El inglés es un buen ejemplo de cómo se combinan estas posibilidades. Resulta que los dos principios se combinan en la mayoría de las lenguas, aunque no de una manera tan espectacular como en inglés.

La singular automaticidad de la lectura que ha quedado demostrada con el paradigma de Stroop permite a los lectores hacer dos cosas a la vez: identificar la palabra entera y al mismo tiempo transcribir las letras en sonidos poco a poco. Es lógico que uno de los dos procesos tenga algo más de importancia con arreglo al sistema de escritura utilizado. Por tanto, cuando aprendemos a leer en inglés o en francés, trabaja más la región responsable del reconocimiento de palabras enteras; y cuando aprendemos italiano, trabaja más la región responsable de la transcripción letras-sonidos.

¿ES EL SISTEMA DE LECTURA UN ACCESORIO DEL SISTEMA DEL HABLA?

¿Qué es más importante, los elementos sonoros de una palabra o el sonido de la palabra entera? El lector competente tiene una respuesta sencilla: evidentemente, las dos cosas son importantes. Por su lado, la persona analfabeta optará por el sonido de la palabra entera sin siquiera saber acaso qué se entiende por elementos sonoros del habla.

El alfabeto permite a los lectores ser conscientes de algo que, de lo contrario, ignorarían: la posibilidad de cortar palabras en sonidos minúsculos, que ya hemos comparado con las piezas de Lego utilizadas en el pueblo de juguete. Hemos visto cómo esto permite la combinación de sonidos sin significado,

consonantes (b, m) o grupos de consonantes (sp, ntr) y vocales (a, o), inicios y finales de sílabas (e-ntr-eno, e-ntr-ada, h-eno, h-ada), etcétera, lo que se traduce en una tremenda explosión de posibilidades combinatorias. En principio, podemos escribir cualquier palabra inventada que se nos ocurra.

La misma explosión combinatoria subyace al habla misma. A diferencia del caso del lenguaje escrito, el cerebro ha tenido millones de años para que el habla evolucionara. Los procesos están tan profundamente arraigados que no somos en absoluto conscientes de los mismos. El sistema alfabético que ha llegado a ser el sistema predominante de escritura en las lenguas del mundo es parásito del antiguo sistema del habla humana. Pero para dominarlo necesitamos ser conscientes del proceso combinatorio. Como veremos en el próximo capítulo, esto no resulta igual de fácil para todos los lectores.

Mezcla de colores y palabras

La integración automática de lo que se ve y lo que oye se observa no sólo en la lectura sino también en un «estado» especialmente fascinante denominado *sinestesia*. Las personas sinestésicas mezclan sensaciones diferentes. No es realmente una enfermedad, pues está afectada gente que no presenta ninguna anomalía cerebral. Una persona nota que algo tiene un sabor amargo cada vez que oye sonar un timbre. Otra acaso huela a fresas siempre que toca ropa de algodón. La forma más común de sinestesia supone asociar un color a una letra o palabra concreta. La mayoría de los individuos que presentan esta forma de sinestesia vinculan todas las letras y todas las palabras a un color particular. Una amiga sinestésica siempre «ve» el color rosa cuando oye la letra *l* o cualquier palabra que comience por *l*, mientras que para ella la *q* está ligada al verde.

Hasta hace poco se creía que la sinestesia era muy poco común, pero estimaciones más recientes dan a entender que hasta un 4-5 % de la población puede que tenga algún tipo de experiencia sinestésica.

No se sabe qué origina la sinestesia, pero se han dado varias explicaciones. Una es que la combinación de sentidos deriva de asociaciones de la infancia. En el caso de la sinestesia color-palabra, tal vez estos individuos están recordando los

colores de las letras del alfabeto colgando en las paredes o las letras imantadas pegadas a la nevera cuando ellos eran muy pequeños. De todos modos, esto no explica por qué las personas sinestésicas afirman «ver» colores (no sólo pensar en ellos) cuando leen letras.

Una idea alternativa es que la sinestesia se debe a conexiones hiperactivas entre la región del cerebro que procesa los colores, denominada V4 (área visual 4), y el área cerebral que almacena las palabras (área de la forma de las palabras). Estas dos áreas se hallan muy próximas entre sí, en la parte posterior del cerebro, y es posible que pasen señales de una a la otra.

La sinestesia es un fenómeno que nos revela lo rica que es nuestra experiencia del lenguaje escrito. También nos ofrece un atisbo de la asombrosa facilidad del cerebro para combinar experiencias distintas, en especial para mezclar imagen y sonido. La forma visual de la palabra escrita suscita inmediatamente el sonido de la palabra, al menos en los lectores normales. Damos esto por descontado, aunque quizá en el fondo sea tan asombroso como la capacidad de los sinestésicos para evocar un color cada vez que oyen una palabra.

CAPÍTULO 6

APRENDER A LEER Y SUS DIFICULTADES

¿Cómo cambia el cerebro cuando aprendemos a leer y escribir? ¿Por qué a algunos niños les cuesta tanto aprender a leer? Estas son las cuestiones que abordamos en este capítulo. Las investigaciones cerebrales ideadas para responder a estas preguntas se hallan todavía en una etapa temprana. Una explicación es que las técnicas de los escáneres y las ecografías aún no se han adaptado bien a los niños, pues es difícil conseguir que estos se estén absolutamente quietos durante la exploración. Movimientos siquiera muy leves dificultan la interpretación de las imágenes. Así pues, los principales resultados obtenidos hasta ahora proceden de voluntarios adultos. Esto es válido tanto para los lectores competentes como para los que padecen dislexia.

Aprender a ser musicalmente culto

Todavía no existe ningún estudio en el que se haya efectuado un escáner al mismo individuo antes y después de aprender a leer. No obstante, Lauren Stewart, del University College de Londres, ha explorado a una serie de adultos antes y después de aprender a leer música.

Se ha escrito música desde que a principios del siglo XI Guido d'Arezzo inventó un sistema de notación. Gracias a ello, la gente pudo interpretar música que jamás había oído antes. De este modo, era posible transmitir música a lo largo del tiempo, lo que permitía a los músicos ejecutar la misma com-

posición original en lugares distintos. Los efectos de la notación musical en la transmisión cultural son semejantes a los del lenguaje escrito. La difusión de la notación ha sido rápida y universal. No obstante, a diferencia de la capacidad para leer y escribir, sólo a una pequeña parte de la población se le enseña a leer música. Los voluntarios adultos del siguiente experimento no sabían leer música, pero tenían muchos deseos de aprender.

Stewart hizo escáneres a voluntarios adultos mediante técnicas de *RMf* antes y después de enseñarles a tocar el piano y a leer música. Dado que ella quería asegurarse de que hacer simplemente la misma tarea dos veces no daría al traste con los efectos de la enseñanza, incluyó también un grupo control a cuyos integrantes no se les había enseñado música, y ambos grupos fueron examinados en las mismas ocasiones. Al cabo de tres meses, quince voluntarios habían logrado el equivalente del Grado 1, tal como lo define el Consejo Asociado Británico de las Escuelas Reales de Música.

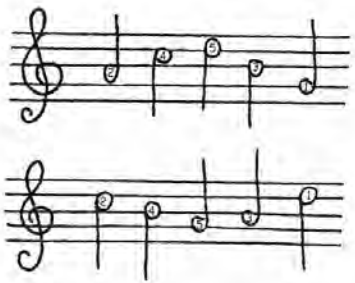


FIGURA 6.1. *Dibujo de los estímulos utilizados en el experimento musical Stroop de Lauren Stewart. Las notas indican teclas del teclado; los números, qué dedos deben utilizarse. En la línea superior, las notas y los números de los dedos son congruentes, mientras que en la inferior son incongruentes. Se pidió a los participantes que pasaran por alto la notación musical y usaran la notación de dedos. Los músicos pusieron de manifiesto interferencia de la notación musical.* Fuente: adaptado de figuras 1 y 4 de Stewart et al. *NeuroImage* 20 (2003): 71-83. Copyright © 2003 de Elsevier Science. Con autorización de los autores y Elsevier Science.

Stewart puso de relieve que ahora los músicos podían leer música automáticamente valiéndose del paradigma de Stroop, que acaso recordemos del capítulo 5. Aquí los números que indicaban dedos (1 = pulgar, 2 = índice, etcétera) estaban superpuestos a notas reales. Se dijo a los alumnos que no hicieran caso de las notas y tocaran en el teclado partiendo simplemente de los números con los dedos adecuados. A veces los números se contradecían con las notas: por ejemplo, cuando la secuencia de notas subía, los números bajaban. En este caso, la tarea era más difícil; las notas interferían aunque se dijera a los voluntarios que las pasaran por alto. Como en el caso de las personas que saben leer y escribir, es imposible evitar la lectura de una palabra escrita, por lo que la gente ahora musicalmente culta no podía por menos que leer las notas musicales del pentagrama. Esto afectaba a su capacidad para seguir la secuencia de números superpuesta.

CAMBIOS EN EL CEREBRO TRAS APRENDER A LEER MÚSICA

Así pues, las enseñanzas de Stewart habían logrado el objetivo de inculcar el conocimiento de la notación musical, conocimiento que a los músicos les venía a la cabeza automáticamente cuando estaba presente la notación. ¿Cómo se reflejaba esto en el cerebro?

Un área pequeñísima del lóbulo parietal, que aparece en la figura 6.2, se ha convertido ahora en un elemento crítico. La misma región permanecía inactiva en personas que no habían recibido enseñanzas. ¿Por qué el lóbulo parietal? Esta área está especializada en ubicar objetos en el espacio y el tiempo, estando también implicada en las matemáticas, en particular en la representación de magnitudes (véase capítulo 4). La destreza recién adquirida de leer música seguramente ha sacado provecho de esta especialización preexistente.

La siguiente cuestión era cómo captar los cambios cerebrales que se producían como consecuencia de haber aprendido a leer música. Stewart pensó mucho en esto. El experimento recién descrito, ¿captaba realmente los cambios críticos? Quizá todo lo que veíamos antes de las clases de música era actividad cerebral asociada a la realización de una tarea impo-

FIGURA 6.2. *La corteza parietal superior derecha estaba activada después de que los participantes aprendieran a leer y tocar música.*

sible (intentar repentizar) y, después de las clases, actividad cerebral asociada a la realización satisfactoria de una tarea. Pero queremos algo más que comparar un intento a ciegas con un intento bien fundado. Nos interesa el área cerebral que se ha vuelto activa debido a la enseñanza de música, no debido al cambio de tarea.

Para resolver de una vez este difícil problema, Stewart utilizó un ingenioso paradigma que funcionaba furtivamente y que había sido introducido tiempo atrás por investigadores que querían hacer visible el sistema de lectura del cerebro. Stewart mostró a los estudiantes la notación musical antes y después de las clases, pero en ninguna ocasión estuvo esto relacionado con la tarea que debían hacer. Los voluntarios no tuvieron dificultades para realizar la tarea, consistente en buscar una línea prominente en una cuadrícula, incluso antes de iniciar su formación musical. La parte ingeniosa de la tarea era que, la mitad de las veces, la línea prominente estaba superpuesta a un papel pautado que a primera vista se parecía a la notación musical aunque en realidad carecía de sentido. Vemos esto en la figura 6.3.

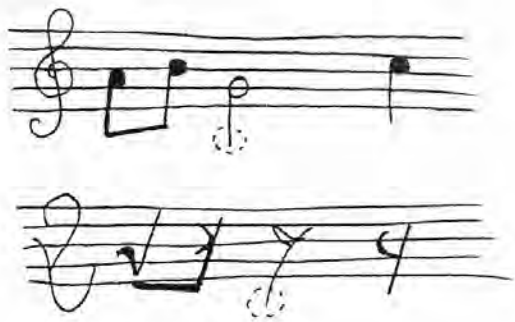



FIGURA 6.3. *Dibujo de la tarea implícita de leer música utilizada en el estudio de RMf de Lauren Stewart. Los participantes tenían que indicar si una línea individual destacaba en una cuadrícula. En la hilera de arriba los estímulos son notas musicales reales, mientras que en la de abajo no lo son aunque se parezcan mucho. Para los no músicos, entre estos dos tipos de estímulos no existía diferencia. Su activación cerebral era la misma. Tras su formación musical, los intérpretes en ciernes no podían pasar por alto los estímulos musicales aunque esto no les ayudara en la tarea encomendada. Su activación cerebral antes y después de las clases de música pone de manifiesto un cambio en una región cerebral concreta.* Fuente: adaptado de figuras 1 y 4 de Stewart et al. *NeuroImage* 2003; 20: 71-83. Copyright © 2003 de Elsevier Science. Con autorización de los autores y Elsevier Science.

¿Registraría el cerebro alguna diferencia? Antes de la formación musical no había diferencia de activación cerebral entre los dos tipos de material. Sin embargo, después de esa preparación musical se observó un cambio en la misma área de la corteza parietal que estaba activa en el estudio ya descrito. No hay por qué preocuparse: efectivamente, la activación de la corteza parietal se debía a las clases de música y no al cambio de tarea.

No obstante, este experimento furtivo reveló otro elemento crítico del lóbulo parietal que estaba muy activado tras las clases de música. Se sabe que esta área está muy activada cuando nos disponemos a llevar a cabo una respuesta motora

compleja. Así, parece que los alumnos del experimento de Stewart estaban realmente preparándose para tocar las notas. No eran conscientes de ello, del mismo modo que no eran conscientes de estar transcribiendo un código espacial en otro: la posición vertical en el pentagrama y la posición horizontal en el teclado. Las notas que veían habían puesto en marcha una serie completa de episodios neurales sin darse cuenta y, podríamos decir, sin necesidad, habida cuenta de que la tarea consistía simplemente en encontrar líneas prominentes. Igual que en el experimento de Stroop, las notas musicales habían adquirido una importancia que no podía ocultarse. El significado que tenían se manifestaba plenamente en la disposición a tocarlas en el teclado.

Aprender a leer palabras

Aún no existe ningún estudio en el que se hayan efectuado escáneres repetidamente a los mismos niños mientras aprendían a leer. No obstante, Guinevere Eden y su equipo de la Universidad de Georgetown, de Washington, DC, llevaron a cabo un estudio de RMf con lectores de distintas edades (de 6 a 22 años) y diferentes niveles de destreza en la lectura. Como en el estudio de Stewart, se pidió a los participantes que detectaran líneas prominentes colocadas al azar, las cuales estaban superpuestas a dos materiales de estímulo diferentes. Eran o bien palabras simples, o bien series de garabatos que parecían letras. Recordemos que en cuanto uno ya sabe leer, no puede por menos que leer las palabras que tiene delante, aunque no se le pida que lo haga. Igual que en el experimento de leer música, al observar este efecto de lectura automática los investigadores fueron capaces de vislumbrar indirectamente el sistema de lectura.

Incluso entre los lectores más jóvenes, la lectura inducía actividad neural en las áreas del hemisferio izquierdo. Esta actividad aumentaba en los lectores de más años y, en cada grupo de edad, era mayor en los lectores más avanzados. En contraste con este incremento de la activación del lado izquierdo, la actividad *decrecía* en las áreas del hemisferio derecho durante el mismo período. Los investigadores llegaron a la conclusión de que el largo proceso de aprender a leer supone

un cambio de actividad de la derecha a la izquierda: las estructuras del cerebro izquierdo están cada vez más ajustadas a tareas específicas de lectura, mientras que las aportaciones del hemisferio derecho, que acaso tengan más que ver con el procesamiento de aspectos visuales del texto, se vuelven menos importantes.

Las regiones del hemisferio izquierdo, cuya actividad aumentó mucho con el incremento de las destrezas lectoras, se hallaban justo en el centro de la red cerebral para la lectura, que analizamos en el capítulo anterior. Esto tiene sentido: lo que los lectores en ciernes deben aprender, y de hecho se les ha enseñado con este fin, es la correspondencia entre sonidos y letras. Como vimos en el capítulo 5, esta es la principal responsabilidad de las regiones cercanas a la *circunvolución angular* y al *plano temporal* del lóbulo temporal izquierdo.

APRENDER A LEER EN CLASE

En los últimos años se han realizado numerosos estudios sobre cómo enseñar mejor a los niños a leer y a escribir. Existe un consenso general respecto a que los métodos que combinan la atención a las palabras pronunciadas y la correspondencia directa entre las letras y sus sonidos son los más eficaces. Como vimos en el capítulo anterior, la comprensión de la correspondencia letra-sonido va de la mano con saber leer. Algunos niños necesitan más de un empujón, pues quizá no estén listos para esta comprensión cuando empiezan a ir a la escuela. Tal vez su cerebro se desarrolle algo más lentamente que el de los niños normales, si bien esto no significa forzosamente que sean disléxicos. Si a estos niños se les da otra oportunidad para aprender a leer a una edad algo más tardía, pongamos a los siete años, la cosa puede funcionar. En algunos países, los niños comienzan a ir a la escuela a los siete años, lo cual facilitaría que los de desarrollo más lento aprendieran a leer. En total contraste con ello, están los que propugnan que la espera no es la mejor opción y que los niños del jardín de infancia deberían recibir formación en destrezas fonológicas y conocimiento de las letras con el fin de prepararse para la escuela. No podemos estar seguro de cuál de estas opciones es mejor, y en todo caso para quién.

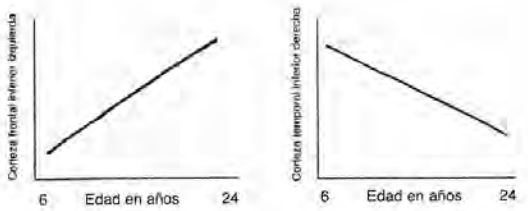


FIGURA 6.4. *La actividad en el hemisferio izquierdo se incrementaba con la edad durante una tarea de lectura, mientras disminuía en las áreas del hemisferio derecho en el mismo período.* Fuente: adaptado de figura 6 de Turkeltaub et al. *Nature Neuroscience* 2003; 6(7): 767-773. Copyright © 2003 de Nature Publishing Group. Con autorización de los autores y de Nature Publishing Group.

Cuando los niños son mayores, pongamos de entre siete y nueve años, es más fácil enseñarles reglas de deletreo explícitas. En el pasado ha habido épocas en que esta enseñanza y este aprendizaje explícitos estaban mal vistos, pues normalmente los que leen y deletrean bien no son conscientes de las reglas. No obstante, algunos niños que tienen un acceso menos intuitivo a los sonidos del habla y a sus correspondencias con las letras, y que están menos adaptados a las regularidades del sistema de deletreo, sacan provecho de la enseñanza de reglas explícitas. En estos casos se han observado avances significativos en el deletreo y la lectura, aunque no necesariamente un progreso en la experiencia del estrés emocional. Existe siempre la preocupación de que, incluso cuando los niños saben las reglas y pueden recitarlas si así se les pide, no las apliquen en la práctica.

Dislexia

Para algunos niños resulta difícil leer incluso después de realizar esfuerzo y recibir instrucción. Los niños disléxicos presentan graves dificultades para aprender a leer, pese a que en

otros aspectos pueden ser brillantes y muy competentes. La dislexia es sorprendentemente común, afecta más o menos a un 5 % de la población y viene de familia. En la actualidad sabemos que estos problemas tienen origen genético y radican en el cerebro. Pero, ¿cómo puede la lectura formar parte de nuestra estructura genética?

En el capítulo anterior sosteníamos que el aprendizaje del lenguaje escrito es sólo una trama secundaria del desarrollo del lenguaje hablado. Por tanto, es verosímil que en la dislexia el principal impedimento para aprender a leer y escribir tenga que ver con el habla. De hecho, muchos niños disléxicos tienen también problemas con el lenguaje hablado y la memoria verbal. Por ejemplo, les cuesta repetir y recordar palabras nuevas pese a no tener ninguna dificultad para comprender su significado.

Numerosos maestros e investigadores tienen la impresión de que reducir los problemas de los niños disléxicos al habla es simplificar demasiado el asunto. Estos niños muestran muy a menudo déficits de atención, algunos tienen dificultades visuales y confunden formas de letras, y otros presentan disfunciones auditivas. Muchos exhiben problemas de coordinación motora y realmente les resulta difícil coger un lápiz como es debido y trazar líneas claras. Todos estos problemas, ¿están conectados y son, de hecho, las causas fundamentales de las diferencias en el aprendizaje de la lectura?

En estudios recientes llevados a cabo por Franck Ramus, Uta Frith y sus colegas de la Universidad de Londres se ha investigado esta cuestión, y la respuesta es sorprendentemente clara: «No.» Estos estudios han confirmado que una cierta proporción (que oscila entre el 10 % y el 60 % en función de la muestra analizada) de niños disléxicos tienen además dificultades de movimiento, auditivas o visuales. Curiosamente, pasaba lo mismo con algunos niños no disléxicos mientras que muchos disléxicos no presentaban estos problemas. Además, si las destrezas de lectura de niños disléxicos con problemas sensoriales y motores adicionales se comparaban con las destrezas de lectura de niños sin estos problemas, no se apreciaba diferencia alguna. Así pues, frustrantes como son todos los problemas adicionales, resultan simplemente elementos añadidos a la dislexia y no la causa de las dificultades de lectura.

Los estudios de Ramus también revelaron que casi todos los disléxicos, tanto niños como adultos, tenían dificultades para procesar el habla, lo que no le sucedía a casi ningún no disléxico. Los disléxicos adultos que examinó habían aprendido a leer tan correctamente como la población normal, pero seguían siendo lectores lentos y mostraban cierto retraso en tareas que les exigían manipular sonidos del habla.

Reforzados por una enseñanza eficaz, los niños pueden dar grandes pasos para superar las dificultades de lectura y deletreo asociadas a su dislexia si muestran deseos claros de aprender y cuentan con un buen maestro. De todos modos, lo de la dislexia no se quita con la edad. Por lo general, la lectura sigue siendo lenta y penosa; y en el deletreo casi siempre hay una propensión al error. La memoria verbal y la capacidad para repetir y aprender palabras nuevas se mantienen en un nivel relativamente mediocre. Esto es lo que cabría esperar de un trastorno del desarrollo radicado en el cerebro: puede producirse aprendizaje compensatorio, pero el problema subyacente no desaparece.

Cada persona disléxica tiene unas dificultades propias que provocan una alteración leve o grave del proceso de aprendizaje. Cada individuo tiene su propio patrón de puntos fuertes y débiles. Si las destrezas verbales no son nuestro fuerte, acaso seamos más competentes en el pensamiento lateral y tengamos un buen rendimiento en esferas como las artes, la creatividad, el diseño o la informática. El sentido común sugiere que hay que identificar y ahondar en los puntos fuertes individuales para permitir a los disléxicos aprovechar sus aptitudes.

¿Cómo se reconoce la dislexia?

Todavía no existe ningún marcador biológico para la dislexia. Tampoco hay ningún test sanguíneo, ni genético. No obstante, conocer las funciones cerebrales específicas que subyacen a la dislexia permitirá a los investigadores idear mejores test diganósticos para los niños pequeños. Entonces, en los niños con riesgo genético se podrían intervenir en etapas tempranas, lo que les ayudaría a aprender a leer. Es lógico que las intervenciones tempranas, antes de que el niño se preocupe

demasiado por la lectura y desarrolle una aversión hacia la misma, sean útiles. En muchos casos, la acción compensatoria conlleva la superación lenta de estas ansiedades y la recuperación sistemática de la confianza. Los buenos maestros suelen ser buenos terapeutas si se trata de reconocer cuándo la motivación es una cuestión importante, y disponen de ingeniosos métodos para que la tarea de aprendizaje sea lo más gratificante posible. No obstante, sería muy preferible comenzar antes de que surgieran las sensaciones negativas ante el lenguaje escrito. Es por eso por lo que el enfoque de «esperar a ver qué pasa» no siempre es una buena idea y el diagnóstico precoz resulta muy aconsejable.

La dislexia es una afección claramente hereditaria. Si uno de los padres tiene dislexia, el niño tiene muchas probabilidades de ser también disléxico. Se estima que esta probabilidad oscila entre el 25 y el 50 %, en función de cuáles sean los criterios de diagnóstico que se estén utilizando. El diagnóstico de dislexia se basa a menudo en una fórmula en la que se considera que el resultado en un test de lectura es significativamente inferior a los resultados en pruebas de capacidad general y otras destrezas cognitivas.

El hecho de que un niño no sepa leer o deletrear no es motivo suficiente para diagnosticarle dislexia. Dada la falta de test biológicos, dependemos de síntomas y signos conductuales muy visibles, los cuales, igual que sucede en el caso del autismo —como veremos en el próximo capítulo—, son muy variados.

Una de las lecciones más importantes que sacamos de las investigaciones cerebrales es que la conducta que vemos a primera vista puede tener causas muy distintas. Existen muchas explicaciones de las dificultades para aprender a leer y escribir, aparte de alguna anomalía leve en el desarrollo cerebral. Estos casos precisan enfoques diferentes. Unas veces hay que resolver problemas sociales y emocionales transitorios, lo que acaso no sea fácil. Otras veces, mirar simplemente un texto impreso es una experiencia desagradable e incluso agotadora debido a dificultades visuales. Pero en muchos casos, es posible poner de manifiesto problemas con el procesamiento del habla. Por desgracia, los estudios de neuroimágenes, que podrían dilucidar la naturaleza del problema, son todavía escasos.

¿CUÁL ES EXACTAMENTE EL PROBLEMA CON EL PROCESAMIENTO DEL HABLA?

Aprender a leer mediante un alfabeto supone procesar los sonidos de las palabras y asimilar qué significa cada sonido. Con frecuencia llamamos a esto *fonología*. Maggie Snowling, de la Universidad de York, Reino Unido, fue uno de los primeros investigadores que estudió e identificó problemas fonológicos en niños disléxicos. A los niños y los adultos que padecen dislexia les cuesta mucho procesar y clasificar sonidos del lenguaje. Se cree que el deterioro fonológico se debe a una leve anomalía en el desarrollo cerebral y que está directamente relacionado con el bajo nivel del aprendizaje del lenguaje tanto hablado como escrito.

Snowling observó que incluso en los años de preescolar, antes de que los niños lean y escriban, es posible distinguir a los disléxicos por su retraso en el desarrollo del habla. Reveló asimismo que los niños disléxicos adquieren los nombres de palabras más despacio que los otros niños y, ya a los tres o cuatro años, su capacidad para recordar palabras es escasa. Muy a menudo, la gente tiene tendencia a echarle la culpa de algún retraso en el habla o la lectura a la falta de estimulación, pero esto aquí no está justificado. Los niños estudiados procedían de hogares llenos de libros donde se les animaba encarecidamente a aprender a leer.

PRIMEROS ESTUDIOS DEL CEREBRO EN LA DISLEXIA

Norman Geschwind, el neurólogo que estudió las causas de la pérdida repentina de destrezas de lectura y escritura en pacientes que habían sufrido apoplejías, también estaba interesado en las personas que habían sido disléxicas toda su vida sin haber tenido ningún accidente que les hubiera causado lesiones cerebrales. Su laboratorio sacó provecho de la generosidad de unos cuantos individuos disléxicos que habían muerto y donado su cerebro a la ciencia. En estos cerebros, el *plano temporal* de la izquierda tenía más o menos el mismo tamaño que el plano temporal del lado derecho. Normalmente, el izquierdo es mayor.

Estos primeros hallazgos de diferencias anatómicas dieron un gran espaldarazo a la idea de que la dislexia del desarrollo era un trastorno cerebral y que quizá se parecía a los casos de la denominada *dislexia adquirida*. Este término se utiliza para describir problemas de lectura que surgen tras lesión cerebral en alguien que antes leía con total normalidad. Las diferencias anatómicas en estas personas, ¿podían ser efectos, más que causas, de discapacidad lectora? Tal vez, pero desde estos primeros estudios se han evidenciado diferencias cerebrales existentes incluso desde antes del nacimiento. El sucesor de Geschwin en Boston, el neurólogo Al Galaburda, advirtió que pequeños grupos de células nerviosas del cerebro disléxico no estaban en el lugar correcto. Durante el desarrollo temprano del cerebro, algunas células habían deambulado hasta la capa superior de la corteza y eran visibles como cicatrices diminutas. Estas cicatrices eran habituales en las regiones temporales mediales, el centro del sistema de lectura, que también se ocupa del procesamiento del habla. Es posible que estas cicatrices tengan algo que ver con las causas tanto de la dislexia como de los deterioros motores, auditivos y visuales.

En estudios anatómicos de neuroimágenes con personas disléxicas se han observado otras anomalías cerebrales. Uno de los resultados más sistemáticos es que la capa de *sustancia blanca*, que se encuentra debajo de la superficie cerebral y contiene todas las fibras cubiertas de mielina que conectan los nervios, es más delgada en el sistema de lectura del cerebro de los disléxicos. Quizás haya conexiones más débiles entre las tres diferentes regiones del sistema de lectura más que anomalías específicas en las regiones mismas.

EL CEREBRO DISLÉXICO DURANTE LA LECTURA

En varios estudios de neuroimágenes realizados en el Reino Unido y los Estados Unidos se ha apreciado que, durante la lectura, los disléxicos presentan una menor activación en los principales componentes del sistema de procesamiento de la lectura y el habla del hemisferio cerebral izquierdo. Quizá la demostración más notable procede de un estudio con disléxicos adultos a quienes se pidió que pronunciaran en voz alta palabras muy sencillas y familiares que podían leer con precisión mientras estaban tendidos en el escáner. Estos disléxicos

formaban parte del importante trabajo europeo llevado a cabo por Eraldo Paulesu, Jean-François Demonet y Uta Frith, de Italia, Francia y el Reino Unido, respectivamente, que vimos en el capítulo anterior. El estudio mostraba por primera vez que las dificultades subyacentes en fonología son las mismas con independencia del lenguaje.

Tal como se aprecia en la figura 6.5, al margen del lenguaje, los lectores disléxicos exhiben una menor activación en la más posterior de las tres regiones principales del sistema de lectura del hemisferio izquierdo. En otros estudios se han obtenido los mismos resultados. Recientemente, Eamon McCrory, Cathy Price y sus colegas, de la Universidad de Londres, advirtieron que esta región estaba menos activa en los disléxicos incluso cuando sólo tenían que nombrar imágenes. Esta *área de la forma de las palabras* está vinculada al procesamiento de la forma y el sonido de la palabra completa. Es ésta el área que se identificó como especialmente importante en los idiomas inglés y francés, tal como vimos en el capítulo anterior. No es de extrañar, por tanto, que, cuando aprenden a leer, los disléxicos ingleses y franceses sufran más que los disléxicos italianos. Estos últimos pueden aprender a leer y escribir correctamente sin que quizá nunca nadie sospeche que son disléxicos. De todos modos, sus dificultades son reales, aunque permanezcan ocultas: en comparación con sus iguales, leen más despacio, su memoria verbal es peor, y les resulta difícil realizar tareas que ponen a prueba su capacidad para procesar sonidos del habla.

ENSEÑAR A LEER A LOS DISLÉXICOS

La dislexia no tiene una cura total, pero sus efectos pueden paliarse con la enseñanza y el aprendizaje. Si es cierto que los niños disléxicos tienen un impedimento grave a la hora de procesar *fonemas* y relacionarlos con su deletreo, no cabe esperar que aprendan igual que los niños normales. Inevitablemente necesitarán enseñanza especializada. Si no se puede aprender a leer normalmente, ¿cuál es la mejor manera de hacerlo? ¿Es posible que los niños disléxicos compensen esta carencia recurriendo a capacidades generales como la atención y la inteligencia? Si no somos capaces de apren-

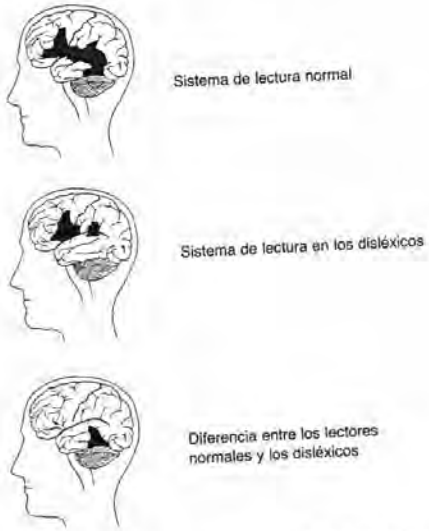

Sistema de lectura normal
Sistema de lectura en los disléxicos
Diferencia entre los lectores normales y los disléxicos

FIGURA 6.5. *Se llevaron cabo escáneres cerebrales en voluntarios del Reino Unido, Francia e Italia mientras leían. Durante la lectura normal, están activadas tres partes del sistema de lectura del hemisferio izquierdo, lo que se aprecia en la imagen superior. Tal como vemos en la imagen central, en los disléxicos sólo están activadas dos áreas. La principal diferencia entre los dos grupos se observó en la tercera región del sistema de lectura, en la corteza temporal, que aparece en la imagen inferior. Los disléxicos de los tres idiomas exhibían la misma disminución de actividad en esta región, la cual desempeña un importante papel en la comprensión de palabras enteras.*

der la correspondencia entre palabras y sonidos de la forma rápida, podemos hacerlo de una manera diferente, más lenta. En este caso, los procedimientos pedagógicos han de ser más lentos que los normales y más explícitos a la hora de señalar las relaciones entre letras y sonidos.

Hace tiempo que los maestros utilizan métodos de este tipo, que a menudo han demostrado su eficacia con los lectores disléxicos. Dichos métodos establecen conexiones entre las imágenes internas de letras, palabras y sonidos. El mero hecho

de aprender a recitar el alfabeto, saber en qué orden aparecen las letras, ya es un gran logro del aprendizaje. Hay que repetir una y otra vez las letras y sus sonidos para cerciorarnos de que conocemos el código. Tras aprender el código alfabético, el trabajo no está ni mucho menos terminado. Aún falta otra fase del aprendizaje, cuya finalidad es establecer un léxico interno de formas de palabras escritas. En inglés, este léxico es enorme, pues muchos deletreos son únicos, de modo que hay que aprenderlos y recordarlos de memoria. Este es un proceso lento para los disléxicos, para quienes precisamente este tipo de aprendizaje resulta difícil.

Existen muchos programas compensatorios excelentes, de algunos de los cuales se ha demostrado experimentalmente su eficacia. Charles Hulme, Maggie Snowling y Peter Hatcher, de la Universidad de York, han puesto de manifiesto que la intervención estructurada, en la que se vinculan los sonidos a las letras y se practica la lectura de textos, da muy buenos resultados. Numerosos programas compensatorios hacen hincapié en la correspondencia gradual entre letras y sonidos, método parecido al que resulta efectivo en la ortografía italiana regular. No obstante, las palabras inglesas que sea imposible leer con este método han de ser introducidas con las suficientes advertencias sanitarias para no confundir al niño. Se han creado programas informáticos para funcionar como profesores especialmente pacientes y presentar con cuidado las palabras de las que se puedan establecer correctamente las correspondencias mediante el método gradual.

Con una enseñanza satisfactoria, es posible disimular las dificultades de los disléxicos. Por lo general, no comprobamos cuánto tiempo tarda alguien en leer un texto cuando lo hace en silencio. No es fácil medir el esfuerzo que han de realizar los disléxicos muy competentes mientras leen. En ciertos informes sobre el éxito de los programas de enseñanza casi nunca se menciona este aspecto. Vemos puntuaciones que indican mejora en la precisión de la lectura —aunque no necesariamente en la velocidad—. Por lo que sabemos, ningún programa didáctico ha logrado incrementar la velocidad y reducir a la vez el esfuerzo en la lectura. Naturalmente, cabe esperar pequeñas mejoras como consecuencia de la mera práctica a lo largo de los años. Esto no equivale al acceso increíblemente rápido y automático al léxico del que dispone el lector normal. Como analogía, imaginemos que debemos buscar palabras en un diccionario mirando el alfabeto letra por letra. Ahora comparemos esto con la acción de teclear una palabra en el ordenador y ver al instante su significado, su sonido y su deletreo correcto.

EFECTOS DE LA ENSEÑANZA COMPENSATORIA EN EL CEREBRO DISLÉXICO

Algunos investigadores sostienen que es posible fortalecer regiones cerebrales que tienen especialmente que ver con el procesamiento de sonidos del habla. A tal fin se valen de ejercicios repetitivos, pero aun así motivadores, que suponen escucha atenta a sonidos modificados. Paula Tallal y sus colegas de la Universidad Rutgers han afirmado que estos ejercicios mejoran el procesamiento del lenguaje tanto hablado como escrito, diseñando a tal fin programas basados en ordenadores. Otros investigadores han creado programas para ejercitar destrezas visuales y motoras, afirmando asimismo que dichos programas dan buenos resultados con los disléxicos. No todo el mundo está igual de convencido de ello.

Dos estudios de imágenes nos han procurado información acerca de los cambios producidos en el cerebro después de la enseñanza compensatoria más tradicional. En uno de ellos, Sally Shaywitz y sus colegas de la Universidad de Yale compararon tres grupos de adultos jóvenes. El primero era un grupo de lectores normales, el segundo un grupo de disléxicos que mostraban una mejora relativamente pequeña, y el tercero un grupo de disléxicos que presentaban una mejora excelente. Igual que en el estudio europeo, los lectores disléxicos bien compensados aún exhibían una actividad cerebral anómala durante la lectura: menor activación de la denominada área de la forma de las palabras, situada en la base del lóbulo temporal izquierdo. Los lectores sin mejora activaban áreas de los sistemas cerebrales de la memoria más que áreas del sistema de lectura, lo que da a entender que utilizaban un método menos eficiente para reconocer palabras, mientras que en el cerebro de los lectores mejorados estaba funcionando el sistema de lectura propiamente dicho.

Guinevere Eden y sus colegas de la Universidad de Georgetown efectuaron escáneres a jóvenes adultos disléxicos que habían sido repartidos al azar en dos grupos. Los integrantes de uno de los subgrupos recibieron un programa de formación intensiva pensado para mejorar sus destrezas de lectura. Esta formación consistía en enseñar explícitamente sonidos de palabras y partes de palabras tres horas al día durante ocho semanas. El programa mejoró espectacularmente las destrezas de lectura de los disléxicos. Todos los que participaron en el programa mejoraron sus destrezas de lectura, no así los individuos del subgrupo que no había recibido formación. Al final de las ocho semanas, el subgrupo del programa incluso formó un círculo de lectura.

Además, la actividad cerebral de este grupo reflejaba la mejora en sus destrezas lectoras. Curiosamente, escáneres cerebrales efectuados después del programa de formación revelaban que el lóbulo parietal derecho de los individuos del grupo se volvía activo durante la lectura. Parece que el grupo entrenado compensaba el escaso rendimiento de su lóbulo parietal izquierdo utilizando el lóbulo parietal derecho, área de la que se sabe que integra imágenes y sonidos. Emparejar y aprender sonidos de palabras y deletreo conlleva integración auditivo-visual. En los lectores normales, esta integración se realiza automáticamente mediante las áreas especializadas del sistema de lectura del hemisferio izquierdo, en especial el área de la forma de las palabras que, como ya hemos visto, en los disléxicos está menos activa. El estudio de Eden sugiere que los disléxicos pueden incrementar la integración de la imagen y el sonido de las palabras recurriendo a otra región del cerebro.

Estos resultados subrayan el hecho de que el cerebro adulto es capaz de cambiar, y que vale la pena intentar enseñar a individuos disléxicos incluso en la edad adulta. El hecho de que este cambio no suponga la curación de la dislexia no le resta valor a su éxito. La lectura y el deletreo parecen seguir siendo tareas arduas para los disléxicos, lo cual no debe ser subestimado. De todos modos, la compensación tiene un precio. Sería un error pensar que es sólo cuestión de tiempo que la práctica permita llegar al rendimiento normal. ¿Rendimiento normal? No. ¿Buen rendimiento? ¡Sí!

CAPÍTULO 7

TRASTORNOS DEL DESARROLLO SOCIOEMOCIONAL

Al pequeño Andrés le ha dado un berrinche. No quiere abotonarse la camisa, rechaza la ayuda, y volverá a llegar tarde a la escuela. ¿No es capaz de hacerlo o simplemente no quiere? ¿Podemos notar la diferencia entre los problemas de coordinación motora, como sucede en la dispraxia, y cuestiones totalmente distintas, como los intentos de eludir una tarea desagradable o de captar la atención?

¿Qué tienen que ver los problemas sociales y emocionales con el cerebro?

Supongamos que el problema de Andrés es de carácter emocional. Sabe abotonarse, pero no lo hará. Su problema emocional, ¿tiene origen en los genes o en el entorno? No hay duda de que hay muchas explicaciones totalmente ambientales para las dificultades del desarrollo, explicaciones que por lo general pueden darse durante una evaluación sistemática apropiada. No queremos desechar las dificultades temporales que afectan al aprendizaje y al desarrollo, pero creemos que, por el momento, las ciencias del cerebro pueden contribuir poco a su comprensión.

Aquí nos ocuparemos de problemas de raíz biológica en los que, a nuestro juicio, las ciencias cerebrales han hecho progresos. Cuando hablamos de este tema, a menudo notamos que existe una cierta reticencia a admitir la importancia de las ciencias del cerebro, en especial cuando estamos plan-

teándonos problemas que son evidentes en áreas del desarrollo social y emocional. Quizá se da la suposición subyacente de que esta clase de problemas debería tener una explicación en la esfera de las relaciones emocionales y sociales de la persona.

Considerar que, en los seres humanos, el complejo conocimiento social y emocional se basa en la biología parece algo exagerado. Sin embargo, las investigaciones cerebrales sugieren que hemos de cambiar estas ideas preconcebidas. Muchos trastornos cerebrales que afectan sobre todo al conocimiento social-emocional se reconocen actualmente como lo que son: afecciones susceptibles de mejora. De hecho, los primeros ejemplos provisionales de cómo el conocimiento derivado de las ciencias cerebrales puede utilizarse en la enseñanza proceden del estudio de los trastornos del desarrollo. Este es el caso de los trastornos examinados en los capítulos anteriores: la dislexia y la discalculia.

Autismo

El autismo es un trastorno del desarrollo que presenta muchas variaciones y normalmente se caracteriza por dificultades en la comunicación y la interacción social así como por intereses limitados y una conducta rígida e inflexible. La causa del autismo es muy probablemente una predisposición genética que ejerce un impacto en el desarrollo cerebral antes del nacimiento. Las señales y los síntomas aparecen de manera gradual, y sólo pueden ser identificados del todo a partir del segundo año de vida, aproximadamente. El autismo se presenta en diversos grados, abarcando un amplio espectro, y puede producirse con un nivel de inteligencia tanto alto como bajo.

Por un lado, puede haber niños con autismo que no hablan una palabra, nunca miran a la cara y generalmente se comportan como si estuvieran solos en un mundo de cosas, y no de personas. En el otro extremo, puede haber niños que nos hablan continuamente, pero quizá a nosotros nos resulte difícil entender lo que quieren decir. El rasgo central de los trastornos autistas, en todas las edades y todos los niveles de capacidad, es que falla la comunicación emocional normal.

Podemos advertir este defecto con independencia de si el individuo nos deslumbra con su conocimiento enciclopédico o si se muestra del todo indiferente e incapaz de entendernos.

Habida cuenta de la gran variedad de distintas formas de autismo y de su reconocimiento gradual, en las últimas décadas ha aumentado muchísimo el número de casos diagnosticados. Según estudios recientes, se calcula que el trastorno autista afecta a seis personas de cada mil, esto es, el 0,6 % de la población.

SÍNDROME DE ASPERGER

Algunos individuos del espectro autístico están afectados en forma muy leve, y su desarrollo temprano no es llamativamente anómalo. Esto significa que el diagnóstico es tardío, por lo general después de los ocho años, y los primeros problemas sólo se reconocen en retrospectiva. Para estos casos actualmente se usa por lo común la designación de *síndrome de Asperger*. La a menudo elevada inteligencia de estos niños y su deseo de aprender reglas sociales acaso disimulen el alcance de sus dificultades de comunicación social.

En la actualidad, es probable que los maestros se encuentren en sus clases a niños con el síndrome de Asperger. Quizás aún no se haya efectuado el diagnóstico, pero identificar la posibilidad y enviar al niño a un especialista puede ser el primer paso para una ayuda real. También los demás niños de la escuela, no sólo los maestros, deben saber sobre el síndrome de Asperger y el modo en que éste limita la simple comunicación cotidiana.

Hay historias desgarradoras, por ejemplo, las reunidas por Clare Sainsbury en el libro que lleva el evocador título de *Martian in the Playground* [Un marciano en el patio]. En ellas se explica la difícil situación de los niños con trastornos del espectro autístico que son tan inteligentes y, en muchos aspectos, están tan bien adaptados que no se les diagnostica la afección hasta que llegan a la adolescencia o la edad adulta. Una mujer nos habló del terror y la incertidumbre que experimentó en la escuela. Sin embargo, nadie sospechaba que pasara nada, pues desde el punto de vista académico era muy brillante. Jamás se quejaba del acoso que sufría. Ni siquiera se daba

cuenta de que aquello era acoso y no debía producirse. Le habría gustado tener amigos, pero no era consciente de la importancia de dejar espacio a los demás y tratar de prestar atención a sus intereses en vez de hablar sin parar sobre su propio interés en los ordenadores. No alcanzaba a comprender por qué los otros niños se quejaban de su conducta «extraña» y «pesada».

Otro ejemplo es el de una chica adolescente que quería desesperadamente tener una amiga y comenzó a imitar a una compañera que gozaba de gran popularidad, hasta el punto de llevar la misma ropa y el mismo corte de pelo que ella. No tenía ni idea de por qué la chica popular la evitaba incluso más de lo habitual.

TALENTOS INUSUALES

¿Qué día de la semana era el 11 de agosto de 1974? Julian, un amable adulto autista, es capaz de decirnos en un par de segundos que era domingo. De hecho, Julian puede saber rápidamente el día correspondiente a cualquier fecha, pese a que sus puntuaciones en los test de CI son muy bajas. Una memoria increíblemente precisa para hechos, un vocabulario amplio y unas destrezas de lectura aprendidas de manera autodidacta no son infrecuentes en los niños autistas con CI bajo. El talento musical, la poesía y el arte pueden ser algunos de los *trocitos brillantes de la mente*. Este fenómeno ha sido explorado durante muchos años por Beate Hermelin, de la Universidad de Londres, que escribió un libro fascinante con este título (*Bright Splinters of the Mind* [Trocitos brillantes de la mente]). Para muchas personas, el fenómeno da a entender que el cerebro está especializado en diferentes módulos, y que en el autismo se hallan afectados sólo algunos de los sistemas cerebrales, no todos.

MÓDULOS DE LA MENTE

Una idea controvertida y todavía especulativa, que ya hemos mencionado anteriormente, es que el cerebro del bebé recién nacido viene provisto de varios *mecanismos de arrancada*, los cuales facilitan el aprendizaje por la vía rápida en esferas especialmente importantes. En el autismo, uno o más de estos *módulos* quizá sean defectuosos.

¿De qué mecanismos de arrancada estamos hablando? Suponemos que hay un mecanismo de este tipo para aprender lenguaje, números o música, pues todas estas capacidades se desarrollan con rapidez y pueden existir relativamente aisladas de otras clases de aprendizaje. Este aislamiento significa que funcionan como módulos en una máquina compleja. Un módulo puede romperse. Es posible ser muy inteligente y creativo y no tener oído para la música. Por otro lado, un módulo individual puede sobrevivir mientras otros están dañados. Es posible ser muy lento para aprender cualquier cosa salvo la música, lo que acaso ponga de manifiesto la existencia de un trocito brillante de la mente. Pero ya que estamos hablando de desarrollo, donde una cosa depende de otra, incluso una disfunción secundaria en un módulo individual es probable que tenga consecuencias enormes. El módulo roto tal vez impida que se desarrollen otros en una especie de efecto dominó.

Para que la idea de los mecanismos de arrancada funcione, hace falta dar por supuesto que hay estructuras neurales pensadas para procesar un determinado tipo de estímulo y facilitar una determinada clase de aprendizaje. Es como si distintos órganos realizan diversos cometidos para digerir diferentes cosas: grasas, proteínas, etcétera. También presuponemos que además hay una máquina-mente multiuso que no está diseñada para estímulos concretos, pero es capaz de vérselas con casi todo. Es como un sistema de aprendizaje general que simplemente responde a asociaciones de experiencias. Otra vez de manera especulativa, sugerimos que este mecanismo general podría asumir la función de un módulo si éste resulta defectuoso. Esto haría que cualquier aprendizaje fuera diferente del aprendizaje rápido normal, pero aun así sería viable.

Estas ideas son polémicas. Algunos investigadores prefieren pensar que la especialización es una consecuencia del desarrollo y no un punto de partida. Por ejemplo, Annette Karmiloff-Smith, de la Universidad de Londres, sugiere que el desarrollo del cerebro no queda bien explicado con los módulos y los equipos de arrancada, sino que es la propia experien-

cia la que origina el desarrollo gradual de módulos en el cerebro adulto. Esto seguramente es cierto para módulos como el de la lectura, que se adquieren en etapas tardías. Pero quizá sea menos probable para módulos como los de los números o el habla, que parecen estar presentes muy pronto. En cuanto dispongamos de técnicas para observar el funcionamiento del cerebro vivo en respuesta a distintos estímulos a diferentes edades, sabremos más sobre el origen, el desarrollo y la función de los módulos.

CÓMO FUNCIONA LA IDEA ESPECULATIVA EN EL AUTISMO

¿Qué avería de los módulos podría dar origen a los problemas sociales del autismo? Se han propuesto muchas teorías para explicar los síntomas del autismo; aquí sólo describiremos una de ellas, conocida popularmente como «falta de teoría de la mente» o «ceguera de la mente». *Teoría de la mente* es una descripción abreviada de la capacidad humana para atribuir deseos, sentimientos y creencias a otras personas a fin de explicar su conducta. Una nueva palabra para esta capacidad es *mentalización*. Otro término, utilizado por Simon Baron-Cohen, de la Universidad de Cambridge, es *empatización*.

Así pues, por ejemplo, si observamos que el conductor de delante se para de golpe, damos por sentado que quería detenerse quizá porque creía que había un obstáculo en la calzada. No importa si después de todo resulta que no había obstáculo alguno. Cuando intentamos explicarnos la conducta de alguien, lo que cuenta es la idea. La mentalización, o empatización, es algo que hacemos automáticamente y con la mayor facilidad, tal vez debido a que nuestro cerebro tiene un módulo para ello. Podría ser éste el módulo defectuoso del autismo. Consideremos brevemente los datos favorables a esta idea.

TEORÍA DEL AUTISMO CONOCIDA COMO CEGUERA DE LA MENTE

La hipótesis de la *ceguera de la mente* fue planteada en la década de 1980 por Simon Baron-Cohen, Alan Leslie y Uta Frith, de la Universidad de Londres, y desde entonces ha sido

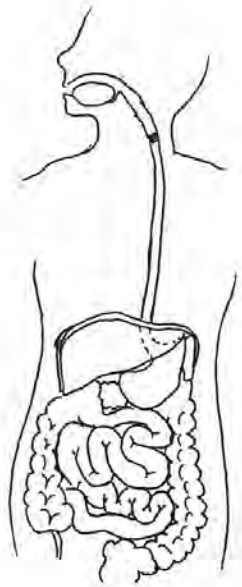


FIGURA 7.1. *Para que la idea de los mecanismos de arrancada funcione, es necesario dar por supuesto que el cerebro está especializado para procesar distintos tipos de información. Es como el aparato digestivo, en el que diferentes órganos están especializados en el procesamiento de distintos nutrientes.*

desarrollada por muchos otros investigadores. La principal propuesta de la teoría de la ceguera de la mente es que, en el autismo, falta la capacidad intuitiva para entender que las otras personas tienen mente. La ausencia de esta capacidad es de raíz cerebral y se manifiesta de diferentes maneras en distintas edades.

Imaginemos cómo es ser mentalmente ciego. Una descripción exquisitamente detallada y muy precisa de lo que debe de ser la ceguera de la mente aparece en el reciente best-seller *El curioso incidente del perro a medianoche*. El autor, Mark Haddon, cuenta la historia desde el punto de

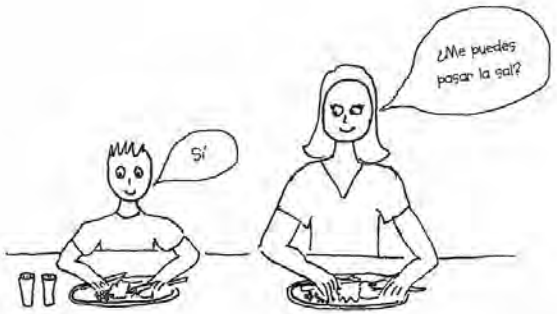


FIGURA 7.2. *Dado que los niños autistas no atribuyen intenciones ni deseos a las acciones y el habla de las otras personas, a menudo entienden las cosas de manera literal.*

vista de un adolescente con síndrome de Asperger que se propone resolver un incidente desconcertante. El héroe, Christopher, descifra el enigma aunque ignora lo que saben o creen los demás al respecto. Tiene que averiguarlo todo por sí solo.

Ciertos experimentos han establecido que los niños con desarrollo normal adquieren muy rápidamente la capacidad de mentalización y, a los cinco años, comprenden escenarios sociales muy complejos, como las falsas creencias, el fingimiento, el engaño y las mentiras piadosas. Los niños autistas, no. Estos son incapaces de comprender que las otras personas pueden tener opiniones distintas de las suyas. Uno de los primeros problemas observados en los niños autistas es la falta de atención compartida, como la que se produce en general al señalar y mirar atentamente lo mismo que otra persona. Otro es la ausencia de juego fingido. La mayoría de los bebés con desarrollo normal se fijan claramente en lo que es objeto de atención de otra persona, y desde aproximadamente los dieciocho meses empiezan a jugar de mentirijillas. La simulación supone entender que la creencia difiere de la realidad, por lo que depende de tener una teoría de la mente.

FIGURA 7.3. *El juego fingido; por ejemplo, escenificar que un plátano es un teléfono, supone entender que la creencia es diferente de la realidad. La mayoría de los niños comienzan a utilizar la simulación en el juego desde aproximadamente los dieciocho meses, mientras que los niños autistas van gravemente retrasados en el uso y la comprensión del juego fingido.*

A medida que los niños autistas se hacen mayores también pueden adquirir la idea de que la creencia es distinta de la realidad. No obstante, caen en la cuenta de esto unos cinco años después que la mayoría de los niños.

MENTALIZACIÓN DEL CEREBRO

La idea de un módulo defectuoso de la mentalización se ha visto respaldada por investigaciones cerebrales. Varios experimentos con neuroimágenes han revelado qué regiones cerebrales aparecen activas cuando los adultos normales están ocupados en la mentalización automática. Todas estas regiones forman parte del *cerebro social*.

En las personas no autistas, diferentes tareas que suponen deducir intenciones, creencias y deseos de la gente activan tres regiones clave del cerebro social: la *corteza prefrontal medial*, el *surco temporal superior* y los *polos temporales* adyacentes a la *amígdala*. Aún sabemos poco sobre las funciones precisas de

estas regiones, pero se han hecho algunas sugerencias iniciales. La corteza prefrontal medial está implicada en el control de estados mentales internos tanto del yo como de los demás. El surco temporal superior es importante para reconocer y analizar movimientos y acciones de las personas. El polo temporal tiene que ver con el procesamiento de las emociones. La activación sistemática de estas tres regiones cerebrales en toda clase de tareas de mentalización da a entender que desempeñan papeles clave en esta última.

En varios estudios recientes se han realizado escáneres a personas muy competentes con el síndrome de Asperger mientras llevaban a cabo tareas de mentalización. En ellos se ha observado que, en los individuos con el síndrome de Asperger, las tres regiones cerebrales involucradas en la mentalización están conectadas más débilmente que en los participantes control normales, por lo que están menos activas.

¿Significa esto que existen regiones cerebrales específicas que, en el autismo, se desarrollan de forma anómala? De ciertos estudios anatómicos se han obtenido pruebas preliminares de ello. Hasta ahora los resultados sugieren que la proporción de sustancia gris y sustancia blanca en determinadas partes cerebrales implicadas en la mentalización es ligeramente distinta. Estas diminutas irregularidades anatómicas tal vez sean

FIGURA 7.4. *El cerebro ha evolucionado para interaccionar con otros cerebros. Visiones laterales con las partes delanteras frente a frente.*

un indicio de conexiones en desarrollo anómalas. Las partes señaladas más a menudo como lugares conflictivos en las investigaciones recientes son los *lóbulos temporales*, los *lóbulos frontales* y el *cerebelo*. Según ciertos datos, entre diferentes regiones hay una mala conectividad que es especialmente característica del cerebro autista.

Sólo recientemente se han obtenido pruebas de que el cerebro de muchas personas autistas es más grande y más pesado que el de las no autistas. Al nacer, el tamaño parece normal, o incluso inferior a lo normal, pero es perceptible un incremento tras el primer año de vida. Tal como vimos en el capítulo 2, en el desarrollo del cerebro normal, las conexiones entre células cerebrales (*sinapsis*) al principio se multiplican y a continuación experimentan un proceso de poda conforme a lo mucho o poco que se utilicen. Quizá en el autismo no se produce la poda sináptica adecuada.

FIGURA 7.5. *Numerosas tareas distintas de mentalización activan la corteza frontal medial (en la parte delantera), los polos temporales (activación central) y el surco temporal superior (activación hacia la parte posterior).*

Carecer de la base *innata* para la lectura mental no incapacita para *aprender* sobre estados mentales. Antes hemos conjeturado que, cuando un módulo es defectuoso, entra en juego un mecanismo de aprendizaje general multiuso. Los padres y los maestros pueden prestar una gran ayuda. Es posible acumular gradualmente una consciencia y un conocimiento de los estados mentales enseñando sobre estos mediante el uso de la lógica, la memoria y explicaciones detalladas de sucesos acaecidos y de lo que significan. Indudablemente, esto requiere un alto grado de motivación, paciencia y esfuerzo por parte tanto del alumno como del maestro.

Desgraciadamente, por lo que sabemos el aprendizaje compensatorio no tiene lugar tan sólo estando presente y copiando lo que hace otro. Se puede lograr compensación aprendiendo reglas explícitas sobre el mundo social mediante la lectura y el estudio de ejemplos. Hay que ensayar por separado diferentes situaciones y contextos. Para que una persona autista aprenda sobre las intenciones y los sentimientos de los demás, es preciso explicar con detalle las consecuencias de las acciones, las expresiones faciales, los gestos y las palabras, aunque para la mayoría resulten evidentes.

Ahora nos gustaría hacer una observación de carácter más general. ¿Qué significa enseñar a alguien con un trastorno del desarrollo que tal vez suponga la existencia de un módulo defectuoso? Es casi como enseñar a la mayoría de la gente sobre matemáticas complejas. Un reducido número de personas parecen captar intuitivamente los conceptos de las matemáticas complejas, que al parecer «ven» sin mucho esfuerzo, si acaso alguno. La mayoría de los individuos no tienen esta intuición para las matemáticas, pero esto no les impide aprenderlas de una forma más lenta. No obstante, esto requiere esfuerzo, motivación y enseñanza explícita.

Trastorno de hiperactividad por déficit de atención (THDA)

En un reciente viaje en tren durante las vacaciones escolares estuvimos sentados casualmente frente a una madre con sus

tres hijos, de edades comprendidas entre los cuatro y los nueve años. Eran típicamente revoltosos y estaba claro que tenían muchas ganas de ir de excursión. Sin embargo, el chico de en medio era algo más que travieso. Saltaba continuamente de un asiento a otro, exigiendo a sus hermanos que se cambiaran de sitio con él y corrieran por el vagón arriba y abajo. Sin duda fastidiaba a sus hermanos, que intentaban leer sus cómics. El niño más revoltoso también irritó a su madre cuando logró poner las manos en los respiraderos de la parte superior de la ventana para dejarlas totalmente negras. Después de que su madre le limpiara las manos, el niño, en vez de parar, buscó inmediatamente los mismos respiraderos para deslizar de nuevo las manos en ellos. La pobre madre estaba exasperada. Le ofreció bocadillos para distraerle, pero no lo consiguió por mucho tiempo —el chico no tenía hambre y sólo dio un bocado—. Ella lo amenazó con llevarlo de vuelta a casa, pero nuevamente en vano. Él siguió con sus agitadas actividades.

Este chico parecía aburrido pero también incapaz de hacer nada al respecto. Sus hermanos encontraban cosas que les mantenían ocupados, al menos durante un rato. A diferencia de ellos, él no podía encontrar un entretenimiento igual de absorbente. Ningún propósito claro de hacer una cosa determinada mantenía su atención. En lugar de ello, estaba continuamente «pillado» por estímulos externos fugaces y a menudo inadecuados.

El trastorno de hiperactividad por déficit de atención (THDA; o TDA, trastorno por déficit de atención) es una afección caracterizada por impulsividad inapropiada, dificultades de atención y, en algunos casos, hiperactividad. Un síntoma frecuente es el deterioro social, reflejado en la falta de amigos, pues estos niños tienden a comportarse de una manera que no sólo es difícil de aguantar para los adultos sino también para los demás niños. Les cuesta participar en actividades cooperativas de grupo y con frecuencia se adelantan a los acontecimientos o se ven afectados por distracciones que alteran la actividad de los otros. En la mayoría de los casos, los síntomas se deben a leves disfunciones en el desarrollo cerebral; y las investigaciones sugieren que, al igual que el autismo, el THDA puede tener una base genética.

El THDA empieza en la infancia, pero normalmente persiste hasta la edad adulta. Aunque ha sido identificado y eti-

quetado hace muy poco, el THDA se está diagnosticando con creciente frecuencia tanto en niños como en adultos de Europa y los Estados Unidos. Se calcula que a más del 5 % de los niños norteamericanos en edad escolar se les diagnostica THDA. Muchos individuos a los que ahora se diagnostica THDA quizás antes fueron calificados de hiperactivos.

Por lo general, se diagnostica THDA cuando se presentan conjuntamente varios síntomas —entre ellos dificultad para mantener la atención, jugar tranquilamente y escuchar, así como moverse y hablar demasiado— durante al menos seis meses hasta un nivel maladaptativo, contradictorio con el nivel de desarrollo, que provocan impedimentos significativos en la escuela y/o en casa. El problema es que muchos niños totalmente normales encajan hasta cierto punto en la descripción de los síntomas. La capacidad para mantener la atención y quedarse quieto durante períodos prolongados se desarrolla paulatinamente; además, casi todos los niños son por naturaleza traviesos y activos y se distraen a menudo.

Una condición sine qua non para mantener la atención es que ciertas partes de los *lóbulos frontales* hayan alcanzado un determinado nivel de madurez. Habida cuenta de que los lóbulos frontales se desarrollan a lo largo de un período muy prolongado, tal como veremos en el capítulo 8, y lo hacen más lentamente en unos niños que en otros, existe un importante riesgo de diagnosticar THDA en exceso.

Los niños con un diagnóstico erróneo serían aquellos que simplemente van un poco retrasados en lo referente a alcanzar el grado necesario de madurez. Actualmente, no se sabe en qué medida el input ambiental está facilitando o demorando el desarrollo de lo que podríamos denominar «autocontrol». Es lógico que sea necesaria la experiencia para crear hábitos de atención sostenida; por otro lado, los adultos pueden favorecer el control de la conducta dando órdenes verbales y recordando al niño lo importante que es hacer esto o lo otro, así como ofreciendo recompensas adecuadas. Los modelos de rol pueden muy bien tener cierto impacto en el ajuste del autocontrol.

Uno de los primeros estudios de neuroimágenes sobre el THDA fue realizado a mediados de la década de 1990 por Xavier Castellanos y sus colegas del Instituto Nacional de Salud Mental de Bethesda. El estudio ponía de manifiesto ligeras anomalías estructurales en el circuito cerebral cuya función es inhibir pensamientos y acciones. Los investigadores utilizaron RM (véase apéndice) para explorar el cerebro de un numeroso grupo de chicos con THDA, de edades comprendidas entre 5 y 18 años, y de otro grupo de edades similares sin THDA. Los resultados mostraban que la *corteza prefrontal* y ciertas regiones de los *ganglios basales* eran más pequeñas en los chicos con THDA que en los que no padecían el trastorno.

Se cree que La *corteza prefrontal*, situada en la parte delantera del lóbulo frontal, justo detrás de la frente, desempeña un papel importante en la planificación, la toma de deci-

FIGURA 7.6. *Los ganglios basales son un conjunto de estructuras situadas en la parte central del cerebro, que están implicadas en el control y la coordinación de movimientos.*

siones, el control de la atención y la *inhibición* de conductas inapropiadas. Los *ganglios basales*, una red de estructuras ubicada en niveles profundos del cerebro, están implicados en la producción de movimientos. Los ganglios basales se hallan intrincadamente conectados con la corteza prefrontal, y el hecho de que generen un movimiento depende hasta cierto punto de las órdenes que les llegan desde la corteza prefrontal. Ésta envía órdenes para iniciar y detener movimientos —en otras palabras, además de decidir cuándo y cómo actuar, es también responsable de que la acción deje de producirse.

EL CEREBRO CONTROLADOR

La inhibición es una función esencial de los lóbulos frontales, que se desarrollan gradualmente durante la infancia y la adolescencia. Es este control inhibitorio el que nos impide decir o hacer exactamente lo que sentimos, según sea el contexto social. A los niños pequeños, cuya corteza frontal no está desarrollada del todo, les cuesta mucho más inhibir las acciones y el habla y tienden a actuar impulsivamente con independencia del entorno. Recordamos el caso del niño que se acercó decidido a su tía para decirle con total confianza que a sus padres les horrorizaban las visitas de la tía. Huelga decir que esto provocó un cierto bochorno, ¡y que la pobre mujer tardó mucho tiempo en volver de visita!

Todos los niños son hasta cierto punto desinhibidos. En todo caso, los principales síntomas del THDA son las dificultades graves y prolongadas a la hora de inhibir acciones y mantener la concentración mental. Puede que, en el THDA, el control inhibitorio frontal no esté funcionando eficazmente, quizá porque, en los niños con el trastorno, los lóbulos frontales se desarrollan a un ritmo más lento que en la mayoría. Esto quizá explique en cierta medida por qué muchos niños presentan síntomas parecidos a los del THDA: estos síntomas son una consecuencia normal de la inmadurez de la corteza frontal. El estudio de neuroimágenes de Castellanos y sus colegas da a entender que el funcionamiento defectuoso de la corteza prefrontal en los niños con THDA podría explicar por qué a estos les sigue resultando difícil inhibir la conducta y mantener la atención.

El THDA se trata a menudo con fármacos, como Ritalin y ciertos tipos de anfetaminas, que incrementan la cantidad de *dopamina* y *noradrenalina* en el cerebro. En los adultos, la estimulación de estos sistemas químicos origina sensaciones de vitalidad y euforia. Estos fármacos son muy eficaces para tratar los problemas de atención e hiperactividad. Muchas personas se sorprenden de que el fármaco elegido sea un estimulante y no un sedante. Aún no se sabe por qué los fármacos estimulantes son tan útiles para tratar los síntomas del THDA.

La medicación no cura el THDA, pero puede servir para que el niño funcione mejor en la escuela y en casa. Por lo general, se cree que la medicación es más eficaz cuando se utiliza conjuntamente con otras terapias. Existen otros tratamientos, entre ellos la terapia cognitiva y la terapia familiar, que pueden ayudar al niño a mejorar el autocontrol y la atención, y a la familia a aprender el mejor modo de afrontar y controlar la conducta del niño. Según algunas investigaciones, ciertos tipos de comida —que incluyen aromas, conservantes y colores artificiales— pueden agravar el THDA en un conjunto reducido de personas. Puede que estos sean efectos reales, pero en todo caso muy pequeños. Así pues, la atención a los regímenes dietéticos no debería ir en menoscabo de medidas educativas que fortalezcan el control conductual.

Trastorno de la conducta

Antes de que la corteza frontal esté lista para llevar a cabo una función *stop-and-start* (parar y arrancar) en un niño normal, otras personas, por lo común adultos, han de realizarla en su lugar. Aquí la idea es que el niño siga estas órdenes externas. No todos los niños lo hacen, y ninguno lo hace todo el tiempo. Cuando los controles externos no están funcionando, o el niño parece ser incapaz de utilizarlos, entonces puede diagnosticarse trastorno de conducta, o trastorno «desafiante y oposicionista». Este tipo de trastorno se asocia a menudo al THDA. Sólo en una minoría de niños constituye un problema persistente que más adelante se transforma en conducta antisocial grave.

Se ha reflexionado mucho sobre las razones sociales del trastorno de la conducta, y bastante menos acerca de las razones biológicas. Muchos psicólogos y maestros hablan de conducta buscadora de atención y creen que el estilo parental es uno de los orígenes del problema, de modo que se puede lograr mejora si se se proporciona una formación especial a los padres. A menudo no es posible responsabilizar al estilo parental, pero aun en estos casos los programas de modificación de conducta pueden dar resultado.

Un trastorno de empatía y sensibilidad moral

La elogiada película brasileña *La ciudad de Dios* retrataba la vida en una favela muy pobre, donde las bandas de jóvenes tenían que arreglárselas por su cuenta mediante robos y otras actividades delictivas. Era fácil conseguir armas, y también drogas, y los asesinatos y otros actos violentos parecían la experiencia inevitable de casi todos los niños. Tal como se ve en la película, la ley de la calle era matar o que te mataran. Y aun así, todos los chicos, menos uno, respetaban cierto código moral o de honor. La excepción era un muchacho que disfrutaba matando y no mostraba ninguna piedad: un destacado jefe de una banda, cuyos miembros le tenían un miedo atroz. Este cabecilla se comportaba de una manera que no podía encontrar excusas en el entorno en que vivía: los demás lo sufrían igualmente y no llegaban a sus niveles de crueldad. Entre todos los jóvenes violentos de su ciudad, él era el único psicópata. (Obsérvese que, para subrayar la falta de empatía de esta afección, usamos los términos «psicópata» y «psicopatía» en vez del más reciente «trastorno de personalidad antisocial».)

En los adultos, la *psicopatía* es una afección que a veces comienza con trastornos de la conducta en la infancia. James Blair, neurocientífico del desarrollo del Instituto Nacional de Salud Mental de Bethesda, sugirió que un trastorno del neurodesarrollo da origen a psicopatía en la edad adulta y puede muy bien tener raíz genética. El trastorno seguramente es poco común y actualmente se diagnostica de manera bastante rudimentaria a partir de cuestionarios clínicos, igual que el THDA y el trastorno de la conducta. Blair

señala que el fundamento cerebral de la psicopatía es un funcionamiento defectuoso de ciertas partes de la *amígdala* (véase figura 7.8).

Por lo general, la amígdala reacciona ante expresiones de tristeza y miedo en otras personas. Después, esta reacción totalmente automática e inconsciente da lugar a una respuesta aversiva. No nos gusta ver a otras criaturas sufrir o tener miedo. Si vemos miedo o dolor en los ojos de alguien y nosotros somos la causa de ello, puede que esto actúe como señal para interrumpir lo que estamos haciendo. Es como un reflejo que Konrad Lorenz describió en perros de pelea y otros animales: existen ciertas indicaciones, denominadas *señales de sumisión* (por ejemplo, mostrar el cuello), que contribuyen a hacer que el animal vencedor se detenga y se eche atrás para no provocar más daño. Según Blair, en los seres humanos se da el mismo reflejo, que es vital para aprender sobre conducta moral. De forma instintiva sabemos que no hemos de provocar aflicción a otros seres humanos. Por tanto, aprendemos a considerar como moralmente malas las cosas debido a las cuales alguien resulta lastimado.

FIGURA 7.7. La mayoría de las personas sienten empatía hacia otras que están apenadas. Los psicópatas carecen de empatía.

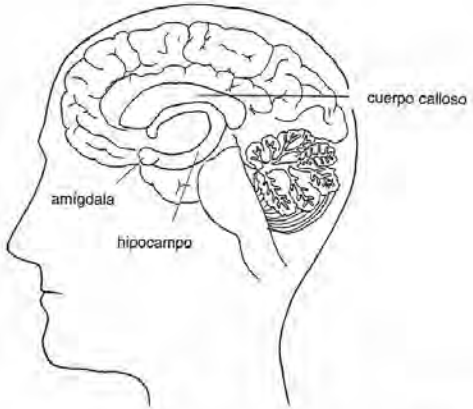


FIGURA 7.8. La amígdala se encuentra situada en niveles profundos del cerebro y está implicada en el procesamiento de las emociones.

Incluso los niños pequeños hacen implícitamente juicios morales. Pueden distinguir ciertas fechorías de otras que no ocasionan víctimas. Esto se conoce como distinción «moral-convencional». Por ejemplo, los niños saben que no se debe hablar en clase. No obstante, acaso piensen que está bien hablar en clase si el maestro les da permiso expreso para ello. En cambio, si se dice a los niños pequeños que el maestro les da permiso para estropear algo o hacer daño a alguien, la mayoría insistirá en que esto está mal. Esta ingeniosa manipulación ha dado origen a un test que explora la comprensión moral.

Los niños aprenden que las transgresiones morales, como hacer daño a otros o robarles cosas, son malas directamente a partir de las reacciones negativas de hermanos y compañeros así como de los padres y maestros. En cambio, las transgresiones convencionales, como entrar en casa con los zapatos sucios o no guardar el juguete en el cajón, se enseñan de manera explícita. Parece normal que se desarrolle de forma totalmente natural un conocimiento de la moralidad y sus transgresiones durante las interacciones con los hermanos, los compañeros y lo adultos. Si en etapas tempranas se observa que los niños se muestran insensibles ante la aflicción o el miedo de los demás, el sentido común nos dice que es especialmente importante inculcar normas de conducta moral y procurar herramientas de autocontrol.

Se ha efectuado el test de Smetana para la distinción «moral-convencional» (las convenciones se pueden romper, las reglas no) en niños con trastornos de conducta, una pequeña minoría de los cuales se muestran incapaces de hacer la distinción. Esto es también válido para individuos que han sido diagnosticados como psicópatas. Puede ser muy bien que los niños que no sienten intuitivamente que las transgresiones morales son peores que las convencionales se conviertan en adultos psicópatas si no se les orienta adecuadamente. En estos casos, la adversidad social, la agresividad y la conducta impulsiva suelen ser factores concurrentes.

No obstante, otros individuos con un grado de adversidad igual o peor, así como con una conducta desinhibida, son capaces de mostrar empatía, y sus delitos son mucho menos crueles que los cometidos por los psicópatas. Además, sienten remordimientos, mientras que los psicópatas no se arrepienten de sus acciones. «Se cruzó en mi camino», dijo un psicópata cuando se le preguntó por qué había golpeado a un niño haciéndolo caer al suelo. Otro psicópata que no era violento pero que constantemente engañaba a la gente y se aprovechaba de su confianza dijo: «Si confían en los demás, es culpa suya.»

Las desgracias nunca vienen solas

Una de las observaciones clínicas más habituales es que a los niños a menudo se les puede diagnosticar más de un trastorno. La palabra acuñada para la coincidencia de varias afecciones es *comorbosidad*. Por desgracia, padecer una enfermedad no protege de sufrir otra. De todos modos, la frecuente coincidencia del trastorno por déficit de atención y la dispraxia con otros trastornos del desarrollo requiere algún comentario. ¿Es coincidencia? Las cifras parecen ser demasiado elevadas para hablar de coincidencia, si bien todavía no

se ha realizado un adecuado estudio sobre la prevalencia de la comorbosidad.

Una teoría es que la anomalía neurológica que provoca el trastorno del desarrollo se presenta en dos formas. En una, afecta sólo a un módulo de arrancada. Esto se traduciría en puros casos de autismo, o de dislexia, coexistentes con un alto nivel de inteligencia y un buen uso del lenguaje. La analogía sería un revólver con una sola bala que daría en un blanco muy preciso. Recordemos que incluso un caso puro como este no sería puro del todo, pues el módulo que falta probablemente causaría un efecto dominó en funciones mentales que normalmente dependen de él. En la otra forma, la anomalía neurológica está mucho menos delimitada. Aquí la analogía sería una escopeta con balas de fragmentación, que afectaría a una diana mucho mayor y tendría efectos un tanto imprevisibles. Los efectos más comunes se producirían en los cálculos más laboriosos del cerebro, que son el control del movimiento y el control de la atención.

Los trastornos del desarrollo social-emocional constituyen un reto para la educación

Aún no se acepta de manera generalizada que los trastornos del desarrollo puedan deberse a una anomalía cerebral leve. Una minoría de niños con trastornos del desarrollo están gravemente afectados y en la enseñanza precisan un enfoque muy diferente del normal. Este enfoque tiene que ver con el afrontamiento y la superación de problemas. La idea es que la compensación es posible, pero la curación aún no. Muchos creen que sólo la educación es capaz de influir sustancialmente en la calidad de vida de los individuos con trastornos. La educación no cura las afecciones, pero sin duda mejora el estado de los afectados.

Capítulo 8

EL CEREBRO ADOLESCENTE

La adolescencia es una época caracterizada por enormes cambios hormonales y físicos. También es cuando experimentamos verdaderos cambios en la identidad. Durante la pubertad, parece que cambia la personalidad de los niños. Una chica de catorce años que conocemos, que a los diez años había sido una niña sociable sin ninguna preocupación sobre su persona, en cuanto llegó a la pubertad se volvió profundamente reflexiva y consciente de sí misma. Asimismo ocultó a sus padres su recién descubierto interés por los chicos. La madre nos contó que su hija comenzó a llevar un diario en el que revelaba sus sentimientos, pensamientos y sueños. En compañía de los adultos era tímida, pero con sus compañeros se mostraba extrovertida. En las fotos ya no sonreía con naturalidad, sino que aparecía huraña o se hacía la interesante, o bien evitaba del todo la cámara. Siempre quería parecer diferente: más bonita y más delgada de lo que pensaba que era. Al mismo tiempo, se volvió más capaz a la hora de planificar su trabajo escolar, centrar la atención y pensar de una manera estratégica. En la escuela, también llegó a ser más popular en un grupo distinto de chicas. Sorprendió a su madre cuando organizó una fiesta de cumpleaños e invitó a una compañera de su clase que, aunque no le caía especialmente bien, pensó que, si no la invitaba, la otra le guardaría rencor. Cuatro años antes, se había negado a invitar a la misma chica a la fiesta de su décimo cumpleaños.

Durante la pubertad, muchas cosas están cambiando en el cuerpo y parecen estar cambiando en el cerebro. No se trata sólo de sacudidas y cambios hormonales. Pese a las fre-

cuentes descripciones anecdóticas y autobiográficas, curiosamente ha habido poca investigación empírica sobre el desarrollo de las destrezas cognitivas y el cerebro durante la pubertad y la adolescencia. En los últimos tres años, unos cuantos experimentos pioneros se han ocupado del desarrollo del cerebro y los procesos cognitivos durante los años adolescentes.

¿Qué cambia después de la pubertad?

Todos sabemos que, tras la pubertad, los niños parecen ser más conscientes de sí mismos y de quienes les rodean, de sus opiniones y emociones. La preocupación por el aspecto y por lo que las demás personas —sobre todo sus compañeros— piensan parece ser enormemente importante, mucho más que antes de la pubertad. Buena parte de esto tiene que ver con el creciente interés sexual y con una consciencia de la identidad del sexo opuesto. De todos modos, en general parece revelarse un cambio tremendo en la consciencia social. Un amigo nuestro nos contaba cómo, cuando su hija tenía diez años, él podía siempre conseguir que dejara de hacer travesuras con su hermana pequeña en el supermercado prometiéndole que le cantaría una canción allí mismo. Siempre surtía efecto: las dos hijas se calmaban al instante para oírle cantar su canción favorita. En cuanto la niña mayor cumplió trece años, se produjo un cambio radical. El padre observó que la única manera de lograr que dejara de enredar en las tiendas con su hermana era amenazándola con cantar. Ahora ella no imaginaba nada más embarazoso que su papá cantando en público, ¡e inmediatamente dejaba de fastidiar!

Otra amiga nuestra nos hablaba de cómo su hijo, tras cumplir catorce años, se volvió de lo más intrépido, al menos delante de sus amigos. Nos explicó que hacía poco había recibido una llamada telefónica de la escuela para comunicarle que su hijo y sus nuevos amigos habían sido sorprendidos participando en un juego llamado «Gallina», una diversión bastante popular en la que se incitan unos a otros a cruzar corriendo una calle muy transitada justo cuando viene un coche. La madre había notado que su hijo también había empezado a hacer alardes con la bicicleta y el nuevo monopatín delante de sus amigos, corriendo riesgos en la calle principal, adonde en principio no debía ir. Un par de años antes, el chico tenía miedo de las calles y siempre pedía permiso a su madre para salir. Tenemos aquí un ejemplo del modo en que emociones fuertes como el miedo pueden cambiar y pasar de ser negativas a ser gratificantes, y también de cómo la presión de los compañeros puede comenzar a determinar la conducta.

¿Qué había provocado un cambio tan grande en estos dos niños? Todos tenemos experiencia de los cambios que se producen en nuestra mente y nuestra personalidad tras la pubertad, y aun así asombrosamente hay pocos datos científicos sobre el desarrollo cognitivo y neural durante este importante período de la vida humana.

Primeros experimentos en cerebros adolescentes

¿Por qué sabemos tan poco acerca del desarrollo cerebral durante la adolescencia? Sobre todo por dos motivos. Primero, la idea de que el cerebro sigue desarrollándose después de la infancia es relativamente nueva. Ciertos experimentos con animales, iniciados en la década de 1950, pusieron de manifiesto que determinadas regiones sensoriales del cerebro atraviesan *períodos sensibles* poco después del nacimiento, durante los cuales la estimulación ambiental parece ser esencial para que se produzca el desarrollo normal del cerebro y de las percepciones. En el capítulo 2 analizamos extensamente estos conceptos y experimentos. Basándonos en estos últimos, la sola idea de que el cerebro humano sigue experimentando cambios tras su período sensible en la infancia temprana parece sumamente inverosímil.

No fue hasta finales de la década de 1960 y la de 1970 cuando los estudios con cerebros humanos obtenidos en autopsias revelaron que ciertas áreas cerebrales, en especial la *corteza frontal*, siguen desarrollándose bien entrada la infancia. La corteza frontal es el área responsable de las denominadas *funciones ejecutivas*, como la capacidad de inhibir conductas inapropiadas, planificar, seleccionar acciones, guardar información en la mente o hacer dos cosas a la vez. En unos estudios pioneros, llevados a cabo principal-

mente por Peter Huttenlocher, de Chicago, en las décadas de 1970 y 1980, se demostró que la corteza frontal es la última región que se desarrolla en el cerebro humano. Tras reunir numerosos cerebros de niños, adolescentes y adultos, Huttenlocher observó que la corteza era considerablemente distinta en el cerebro de los niños prepúberes y en el de los adolescentes pospúberes.

Al comparar el cerebro antes y después de la pubertad, se apreciaron dos cambios importantes. Primero, en estudios de finales de la década de 1960 se advirtió que, aunque el volumen de tejido cerebral permanece estable, en la corteza frontal había más *sustancia blanca* después de la pubertad que antes. ¿Qué significa esto? A medida que se desarrollan, las neuronas crean una capa de mielina en torno a su *axón* (la fibra larga unida a cada célula nerviosa; véase figura 1.6). La mielina actúa como aislante e incrementa la velocidad de transmisión de los impulsos eléctricos de una neurona a otra. Ahora bien, la mielina está formada por tejido graso y al microscopio se ve blanca. Por tanto, a medida que se añade mielina a las neuronas, la células aparecen menos grises y más blancas cuando se observan al microscopio. Este hallazgo significa que, en la corteza frontal, la velocidad de transmisión de las neuronas es mayor tras la pubertad.

Fue Huttenlocher quien descubrió la segunda diferencia entre el cerebro de los niños prepúberes y el de los pospúberes. Sus estudios pusieron de relieve un gran aumento en la densidad de las sinapsis de la corteza frontal tras la pubertad. Como se explicaba en el capítulo 2, hay una oleada inicial de proliferación sináptica (*sinaptogénesis*) que se produce justo después del nacimiento y prosigue en la mayoría de las regiones cerebrales hasta que el niño tiene aproximadamente un año. En ese momento, las densidades sinápticas de la mayoría de las regiones cerebrales han alcanzado su nivel máximo. Después de estos valores máximos tempranos en la densidad sináptica, las sinapsis no utilizadas empiezan a ser podadas de nuevo, mientras que las utilizadas resultan fortalecidas. En el lóbulo frontal, no obstante, las sinapsis continúan proliferando durante toda la infancia. Esto puede observarse en la figura 8.1.

Parece que sólo después de la pubertad se inicia la poda sináptica en la corteza frontal. Este enérgico recorte sináptico

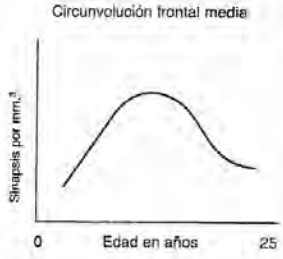


FIGURA 8.1. *En una parte del lóbulo frontal denominada circunvolución frontal media, durante toda la infancia siguen proliferando sinapsis que experimentan una poda gradual a lo largo de la adolescencia. Esto se traduce en una disminución paulatina de la densidad sináptica durante el período adolescente.* Fuente: adaptado de figura 3 en Huttenlocher et al. *International Journal of Neurology* 1983; 16-17: 144-154. Copyright © 1983 de International Journal of Neurology. Con autorización de los autores.

tiene lugar en los lóbulos frontales tras la pubertad y a lo largo de toda la adolescencia, y da origen a una disminución gradual en la densidad sináptica de la región. Recordemos (capítulo 2) que la poda sináptica es esencial para el ajuste de las redes funcionales del tejido cerebral y de los procesos de la percepción. Los resultados de la corteza frontal sugieren que el ajuste de los procesos cognitivos de los lóbulos frontales sólo se afianza en la adolescencia. Una posibilidad fascinante, aunque puramente especulativa, es que ciertos períodos sensibles puedan acompañar al ajuste del autocontrol y funciones de nivel ejecutivo igualmente elevado, como sucede en el ajuste de la percepción de caras y voces.

Observación del cerebro adolescente con imágenes de RM

La segunda razón por la que ignoramos tanto sobre los cambios cerebrales durante la adolescencia es que, hasta hace poco, sólo se podía estudiar la estructura del cerebro humano después de la muerte. Actualmente, determinadas

técnicas no invasivas, en especial las imágenes de Resonancia Magnética (*RM*; véase apéndice), pueden generar imágenes del cerebro humano vivo de gran calidad. La RM se basa en el principio de que el agua es magnética y en un campo magnético emite una señal. Debido a su distinto contenido en agua, en la imagen de RM unas estructuras y otras (hueso, líquido cefalorraquídeo, sustancias blanca y gris, etcétera) aparecen diferenciadas. Así obtenemos una fotografía del cerebro humano en tres dimensiones y de gran resolución.

CAMBIOS EN LA CORTEZA FRONTAL DURANTE LA ADOLESCENCIA

En los últimos años, se han llevado a cabo varios estudios de RM para investigar el desarrollo de la estructura del cerebro durante la infancia y la adolescencia en los seres humanos. En uno de los primeros, realizado por un grupo de investigadores encabezados por Elisabeth Sowell y Paul Thompson, de la UCLA, se exploró el cerebro de un grupo de niños cuya edad promedio era nueve años, y el de un grupo de adolescentes cuyo promedio de edad era catorce años. Igual que los estudios

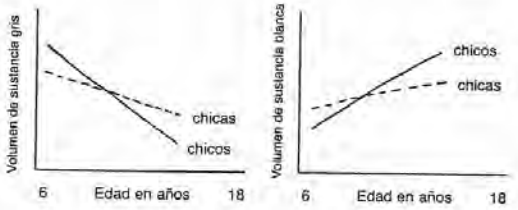


FIGURA 8.2. *En términos generales, durante la adolescencia se produce un descenso gradual en la sustancia gris y un aumento en la sustancia blanca del cerebro, tanto en los chicos como en las chicas.* Fuente: adaptado de figura 1 de De Bellis et al. *Cerebral Cortex* 2001; 11(6): 552-557. Copyright © 2001 de Oxford University Press. Con autorización de Oxford University Press.

celulares realizados treinta años antes habían revelado diferencias entre los cerebros en cuanto a la sustancia blanca, las imágenes cerebrales del estudio de RM ponían de manifiesto un mayor volumen de sustancia gris en las cortezas frontal y parietal en los niños más jóvenes, mientras que, por su parte, el grupo de más edad presentaba en las mismas regiones un volumen superior de sustancia blanca.

Los investigadores llegaron a la conclusión de que la pérdida progresiva de sustancia gris y el aumento concomitante de sustancia blanca que se producía durante la infancia y la adolescencia representaban tanto una disminución pospúber en la densidad sináptica como un incremento simultáneo en la mielinización axónica. Menos sinapsis y más mielina en los axones darían como resultado más sustancia blanca y menos sustancia gris en los escáneres de RM.

Desde 1999, estos hallazgos han sido reproducidos en diversos estudios realizados tanto por el equipo de la UCLA como por otro grupo dirigido por Jay Giedd, del Instituto Nacional de Salud de Maryland. Ambos grupos han confirmado que la cantidad de sustancia blanca en la corteza frontal aumenta tras la pubertad.

Como podemos ver en la figura 8.2, el incremento de sustancia blanca con la edad es ligeramente distinto en los chicos y en las chicas. Este estudio de RM, llevado a cabo por Giedd y sus colegas, reveló que en los chicos el aumento de sustancia blanca en los lóbulos frontales es más acusado y llega a su valor máximo más tarde que en las chicas.

El desarrollo no siempre es gradual. Un estudio de RM a gran escala publicado en 1999 evidenció una relación compleja «no lineal» entre la edad y la densidad de sustancia gris. En este estudio, se exploró mediante RM el cerebro de 145 chicos y chicas de edades comprendidas entre los 4 y los 22 años. En vez de una simple disminución lineal en la sustancia gris con la edad, en la maduración neural se apreció un descenso que coincidía con la pubertad. En la pubertad, el volumen de la sustancia gris en el lóbulo frontal exhibía un aumento temporal. Esta investigación demostró que aproximadamente a los doce años se alcanzaba un valor máximo de densidad de sustancia gris, que disminuía después de la pubertad.

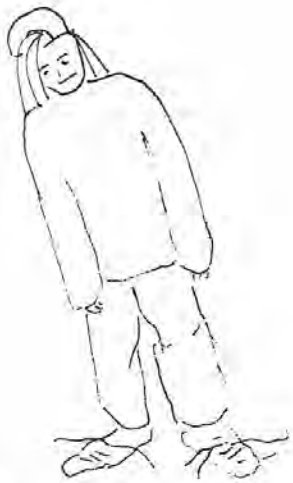


FIGURA 8.3. *«La mielina está aumentando en mis lóbulos frontales.»*

Los investigadores atribuyeron el incremento temporal en la sustancia gris a una segunda oleada de proliferación sináptica al inicio de la pubertad. La paulatina disminución en la densidad de la sustancia gris que sigue a la pubertad se achacó a la poda sináptica pospúber que tiene lugar en el lóbulo frontal. En otras palabras, los científicos sugirieron que en la pubertad se produce un aumento repentino del número de sinapsis, lo que origina un exceso de conexiones sinápticas. En algún momento posterior a la pubertad, existe un proceso de afinación en virtud del cual se elimina, o se poda, este exceso de contactos sinápticos. Esto se traduce en un descenso en la densidad sináptica —lo que en la RM aparece como una disminución en la cantidad de sustancia gris— en los lóbulos frontales de los adolescentes de más edad.

¿Por qué es tan importante aprender sobre los cambios cerebrales en la adolescencia, y qué se desvelará en el futuro? Por lo general, una de las enfermedades mentales más devastadoras, la esquizofrenia, se inicia entre la última etapa de la

adolescencia y los primeros años de la veintena. No obstante, a menudo ciertos individuos que desarrollan esquizofrenia a una edad superior han tenido problemas sociales y conductuales durante los años adolescentes. Si sabemos más sobre el desarrollo cerebral y los cambios en la química del cerebro en la adolescencia, quizás algún día podamos impedir el trágico curso de esta enfermedad mental.

Es igualmente importante saber sobre el desarrollo cerebral durante la adolescencia para la enseñanza y el aprendizaje en el aula. Si se trata de realizar una carrera satisfactoria, es esencial aprender en la adolescencia. Sin embargo, muchos jóvenes realmente no están motivados para estudiar en la escuela o en la universidad. Debería ser posible hallar métodos para que el aprendizaje en esta fase de la vida fuera más gratificante; y aquí las investigaciones cerebrales pueden desempeñar un papel importante.

Los cambios cerebrales prosiguen después de la adolescencia

Así pues, ¿cuándo alcanza el cerebro la madurez? Recientes estudios de RM indican que quizá sea mucho después del final de la adolescencia. El grupo de la UCLA exploró el cerebro de niños cuyas edades estaban comprendidas entre los 7 y los 11 años, adolescentes de entre 12 y 16, y adultos jóvenes de entre 23 y 30. El estudio evidenciaba nuevamente una disminución de la sustancia gris en la corteza frontal entre la infancia y la adolescencia, tal como se había observado en investigaciones anteriores. Pero, curiosamente, los resultados revelaban también que la cantidad de sustancia blanca en los lóbulos frontales seguía aumentando bien entrada la veintena y hasta los treinta años.

Un estudio publicado en 2003 por el mismo grupo se extendía sobre estos resultados. Sowell y sus colegas llevaron a cabo un estudio de RM a gran escala con 176 individuos sanos de edades comprendidas entre los 7 y los 87 años, en el cual analizaron en cada cerebro los cambios en la densidad de sustancia gris. El análisis mostró una disminución en la densidad de dicha sustancia en las cortezas frontal y temporal, lo que iba acompañado de un incremento en la sustancia blanca,

dato que concordaba con anteriores estudios celulares y de RM. Sin embargo, aunque el descenso en la sustancia gris era más espectacular desde la infancia hasta las primeras etapas de la edad adulta, el estudio ponía de manifiesto que el volumen de sustancia blanca continuaba aumentando más allá de estas etapas e incluso hasta los 60 años.

De modo que, aunque ciertos estudios celulares tempranos descritos en el capítulo 2 daban a entender que los cambios en el cerebro cesan más o menos al principio de la infancia, trabajos más recientes con cerebros humanos de autopsias, amén de estudios de RM, han desvelado la existencia de un período más extenso de desarrollo cerebral, especialmente en la corteza frontal. Tomados en conjunto, estos resultados proporcionan pruebas coherentes sobre la naturaleza en desarrollo del cerebro adolescente. Los principales cambios se han observado en la cantidad de sustancia gris frontal, que parece aumentar desde los siete años hasta aproximadamente los doce —disminuyendo a partir de entonces—, y un incremento simultáneo de sustancia blanca.

Y parece que el cerebro sigue desarrollándose bien entrada la edad adulta. Este es un hallazgo ciertamente impresionante tras décadas de investigaciones cuyas conclusiones eran que existen períodos críticos en el desarrollo cerebral durante los primeros años de vida, tras los cuales ya no puede producirse más desarrollo (véase capítulo 2). En la actualidad, al parecer esta idea dista de ser acertada —estudios recientes apuntan a un cerebro que de manera natural experimenta, hasta bien entrada la adolescencia, grandes oleadas de desarrollo que ni siquiera se detienen ahí.

¿Qué hay de los cambios en la conducta y la cognición tras la pubertad?

Habida cuenta de los constantes cambios en el desarrollo producidos en la corteza frontal durante la adolescencia, cabría esperar que cambiaran también en este período ciertas capacidades cognitivas que dependen del funcionamiento de los lóbulos frontales. *Función ejecutiva* es una expresión utilizada para describir la capacidad que nos permite controlar y coordinar los pensamientos y la conducta. Incluye

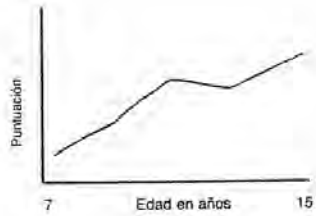


FIGURA 8.4. *En un estudio, se observó que el rendimiento en tareas de función ejecutiva mejoraba con la edad, tal como se aprecia en el gráfico.* Fuente: adaptado de Anderson et al. *Developmental Neuropsychology* 2001; 20(1), 385-406. Con autorización de los autores y Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

también la facultad de dirigir la atención, planear tareas futuras, inhibir conductas inapropiadas o tener presentes varias cosas a la vez. De hecho, estas tareas son las que normalmente ha de llevar a cabo el director ejecutivo de una empresa. Se cree que estas destrezas dependen en gran medida de los lóbulos frontales. Lo sabemos porque si estos sufren alguna lesión, resultan espectacularmente afectadas determinadas funciones ejecutivas; además, los estudios con neuroimágenes revelan activación de los lóbulos frontales durante esta clase de tareas.

Dado que los estudios de RM han puesto de relieve cambios importantes en la corteza frontal durante la adolescencia, cabe suponer que durante este período mejorarán ciertas capacidades relativas a la función ejecutiva. En otras palabras, la atención selectiva, la toma de decisiones y las habilidades para inhibir respuestas, junto con la facultad para realizar múltiples tareas a la vez, son capacidades que podrían mejorar en la adolescencia. Si pensamos en niños corrientes de diez años y los comparamos con chicos corrientes de quince, la idea parece totalmente aceptable. Con toda evidencia, si se trata de inhibir conductas inadecuadas, hacer dos cosas al mismo tiempo o planificar, los niños mejoran a medida que se hacen mayores. No obstante, sólo

en unos cuantos estudios se han investigado de manera sistemática los cambios en las destrezas cognitivas durante la adolescencia.

Vicky Anderson y sus colegas de Australia realizaron estudios conductuales en los que investigaron la función ejecutiva durante la adolescencia en un grupo numeroso de individuos de entre 11 y 17 años. Se utilizaron diversos paradigmas para explorar la evolución de varias funciones ejecutivas que requerían atención selectiva, realización de diversas tareas a la vez y resolución de problemas. Los resultados mostraron que, en la ejecución en muchas tareas de función ejecutiva, se producía una mejora continua con la edad durante la adolescencia. Esta progresión se atribuyó a la ininterrumpida mielinización de los axones en la corteza frontal.

De todos modos, el patrón lineal continuo del desarrollo reflejado en este estudio australiano no se observó en un reciente estudio conductual que usó un paradigma bastante diferente. Llevada a cabo por Robert McGivern y su equipo de la Universidad Estatal de San Diego, en esta investigación se incluía una tarea de «emparejamiento con la muestra». En dicha tarea, a una serie de voluntarios se les enseñaban imágenes de rostros que revelaban expresiones emocionales concretas (felicidad, tristeza, enfado) o palabras que describían estas emociones («feliz», «triste», «enfadado»), y se les pedía que especificaran lo más rápido posible la emoción presentada en la cara o la palabra.

En una tercera situación, se mostraba un rostro y una palabra a los voluntarios, que debían decidir si la expresión facial *se emparejaba* con la palabra que designaba la emoción. La explicación lógica de la tarea era que la fórmula cara/palabra plantea elevadas demandas a los circuitos de los lóbulos frontales, pues requiere memoria de trabajo y toma de decisiones. Así que cabría esperar mejores resultados en los niños de más edad. La tarea basada en ordenador se dio a un grupo numeroso de niños de edades entre 10 y 17 años y a un grupo de adultos jóvenes de entre 18 y 22 años.

El análisis del tiempo que tardaron los participantes en responder a las preguntas reflejó un resultado interesante. Al comienzo de la pubertad, a los 11-12 años, en la ejecución del emparejamiento de caras y palabras había realmente una disminución en comparación con el grupo de niños más jóvenes.

En este cometido, los de 11-12 años eran aproximadamente un 15 % *más lentos* que los del grupo de menor edad. Estos resultados dan a entender que, al principio de la pubertad, existe un descenso en la ejecución en esta clase de tarea. Tras la pubertad, desde los 13-14 años, la ejecución mejoraba hasta que hacia los 16 años regresaba al nivel prepúber.

Los investigadores vincularon este descenso pubescente en la ejecución con la proliferación de sinapsis que se producen al principio de la pubertad. Recordemos que un estudio de RM, descrito anteriormente, puso de manifiesto que la corteza frontal se desarrolla de una manera no lineal, con una ralentización en el desarrollo cerebral durante la pubertad seguida de un desarrollo rápido durante la adolescencia. El desarrollo no lineal probablemente corresponda a la reorganización cerebral. Esto supone aumento de la proliferación sináptica en los lóbulos frontales, seguida de poda y fortalecimiento sináptico. De ser así, los lóbulos frontales adolescentes experimentan una fase de altibajos, que recuerda al cerebro del niño pequeño que aún no camina (véase capítulo 2).

Es posible que, en la pubertad, el exceso de sinapsis, que todavía no se han incorporado a sistemas funcionales especializados, den origen durante un tiempo a un peor rendimiento cognitivo. Sólo más adelante, después de la pubertad, el exceso de sinapsis experimenta una poda y su transformación en redes especializadas eficientes. Durante este período, lo que es percibido como importante en el mundo social que nos rodea también cambia y deja su huella en el proceso de poda. En cualquier caso, son todo conjeturas.

Recordemos que, hasta ahora, este descenso púber en el rendimiento sólo se ha observado en un estudio. Hacen falta muchos más estudios que reproduzcan y amplíen este resultado antes de poder afirmar que dicho descenso es un hallazgo sólido y sistemático.

Observación del cerebro adolescente en acción con RM

Las neuroimágenes funcionales son una herramienta útil para investigar los patrones de activación cerebral vinculados a la función ejecutiva. Las técnicas de RM funcional (*RMf*) permiten obtener, en tiempo real, imágenes del cerebro huma-

no en funcionamiento, constituyendo además un método no invasivo y seguro para explorar la función cerebral en los niños. Se ha utilizado RMf sólo en unos cuantos estudios que investigaban las bases neurales del desarrollo cognitivo mediante tareas diseñadas para acceder específicamente a la función de la *corteza frontal*.

En 1997 se llevó a cabo un estudio de RMf sobre el desarrollo neural de funciones ejecutivas durante la adolescencia. Los científicos utilizaron una versión de la denominada tarea «permitido/prohibido», que supone inhibir una respuesta cuando se presenta determinado estímulo. En el estudio, se mostraba a los voluntarios una serie de letras y se les decía que pulsaran un botón cada vez que vieran una, salvo si ésta era la equis (X). Los participantes debían abstenerse de pulsar botón alguno si veían la letra X —el estímulo «prohibido»—. Esta tarea requiere acción ejecutiva: la orden para inhibir una respuesta habitual.

Tomaron parte en este estudio un grupo de niños de edades comprendidas entre 7 y 12 años y otro de adultos jóvenes de entre 21 y 24. Los resultados revelaron que, tanto en los niños como en los adultos, durante la tarea que requería inhibir la respuesta normal estaban activadas varias regiones de la corteza frontal. Mientras que la localización de la activación era esencialmente la misma en ambos grupos de edad, había más activación en los niños que en los adultos. Esta mayor actividad en el cerebro de los niños se detectaba en la *corteza prefrontal*, la parte de la corteza frontal que se halla inmediatamente detrás de la frente.

Por contraste, los adultos mostraban más actividad en una región distinta, inferior, de la corteza prefrontal. La activación de la parte superior de la corteza prefrontal guardaba una correlación negativa con la precisión en la tarea: los participantes que exhibían una mejor ejecución (esto es, las personas que conseguían recordar que no debían responder a la letra X en la tarea permitido/prohibido) tenían los niveles menores de activación prefrontal. Se observó el patrón opuesto en una región inferior de la corteza prefrontal, en la cual la activación aumentaba con la mejora del rendimiento en la tarea.

La mayor y más difusa actividad en la región superior de la corteza prefrontal de los niños da a entender que para estos

la tarea es más difícil. En comparación con los adultos, en los niños existe una mayor dependencia de esta región. Los investigadores sugirieron que, durante la adolescencia, la red a la que se había recurrido para realizar esta tarea está modificada hasta la edad adulta, en cuya fase se utiliza la activación de una región más pequeña y central de la corteza prefrontal para llevar a cabo la misma tarea.

Otro estudio de RMf se ocupó de la fluidez verbal en niños con un promedio de edad de unos 11 años, así como en adultos de 29 años de edad promedio. La tarea de fluidez verbal requería que los participantes generasen lo más rápidamente posible palabras diferentes que empezaran por la misma letra. Es una tarea bastante exigente que depende de la corteza prefrontal. Los resultados de este estudio revelaron que los niños tenían una peor ejecución y en la corteza prefrontal mostraban como promedio un 60 % más de activación que los adultos. Naturalmente, los niños saben menos palabras, pero también su corteza frontal está menos desarrollada. Es más activa quizá para compensar el menor desarrollo de los circuitos neurales.

Repercusiones de las investigaciones cerebrales en los adolescentes

Estos son algunos de los primeros estudios que han investigado el desarrollo del cerebro y la cognición durante la adolescencia, poniendo de relieve una importante reorganización de las partes del cerebro que siguen desarrollándose durante los años adolescentes y aun después. Los efectos de esta reorganización parecen ser un mayor control y una mejor planificación de las acciones complejas necesarias tanto en el trabajo como en la vida social.

La idea de que los jóvenes que han alcanzado la madurez sexual aún deberían ir a la escuela y recibir educación es relativamente nueva. Y no obstante las investigaciones sobre desarrollo cerebral durante la adolescencia revelan que la educación secundaria y la superior son vitales. En este período, el cerebro todavía se está desarrollando: es adaptable y necesita ser moldeado y modelado. Tal vez los objetivos de la educación para los adolescentes de más edad deberían cam-

biar para incluir el fortalecimiento del control interno, por ejemplo, aprendizaje al propio ritmo, evaluación crítica del conocimiento transmitido y destrezas después de, o junto a, los estudios.

Si se considera que el tramo que va de 0 a 3 años es una oportunidad importantísima para la enseñanza, también debería serlo el de 10-15 años. En ambos períodos tiene lugar una reorganización cerebral especialmente espectacular. Esto puede ser muy bien una señal de que, en ciertas esferas, el aprendizaje es ultrarrápido en estos períodos. En capítulos anteriores hemos hablado de «módulos» y «mecanismos de arrancada» en el cerebro del bebé. En el cerebro adolescente, puede que estos mecanismos de arrancada ya no realicen ninguna función importante. En vez de ello, acaso la actividad predominante sea la modularización de destrezas transmitidas culturalmente que fueron aprendidas en ausencia de mecanismos de arrancada. Así pues, en el cerebro hay que alojar las destrezas de patinar sobre hielo, tocar el piano, leer, hacer cálculos numéricos, crear programas de ordenador, etcétera, como habitantes legítimos a los que se debe asignar espacio. Tan legítimos como las habilidades naturales de andar, comer, hablar, cantar o comunicarnos unos con otros.

Capítulo 9

APRENDIZAJE A LO LARGO DE LA VIDA

El aprendizaje se produce en todas las edades y nunca es demasiado tarde para aprender. El cerebro goza de una *plasticidad* ininterrumpida —es decir, una capacidad para adaptarse a circunstancias cambiantes y adquirir información nueva— hasta la vejez, cuando dicha capacidad disminuye. En este capítulo describiremos investigaciones que ponen de manifiesto la flexibilidad del cerebro adulto.

El cerebro plástico

Según diversas investigaciones de los últimos años, el cerebro adulto, cuando menos ciertas regiones del mismo, es casi tan maleable como el del niño. Por *plasticidad* cerebral entendemos la capacidad del sistema nervioso para adaptarse continuamente a circunstancias cambiantes. Esto sucede en todos los cerebros siempre que aprendemos algo: un idioma nuevo, una destreza nueva, un recorrido nuevo para ir a casa, incluso cuando vemos un rostro nuevo. La plasticidad hace referencia asimismo al modo en que el cerebro se adapta y encuentra nuevas formas de aprendizaje tras haberse producido alguna lesión: por ejemplo, una apoplejía. También cuando resultan dañadas ciertas partes del cuerpo, incluso los individuos de edad avanzada pueden aprender a compensar el percance.

Hace treinta años, los científicos creían que la estructura del cerebro se desarrolla durante la infancia, y que tan pronto ha emergido la organización cerebral queda poco margen para cambios y alteraciones plásticas. Como vimos en el capítulo 2, estas opiniones inspiraron el argumento de que los niños pe-

queños deberían ser educados y estimulados cuanto fuera posible, pues después de cierta edad sería demasiado tarde para aprender. Actualmente sabemos que este razonamiento no es del todo válido. En el cerebro adulto existe una enorme capacidad para el cambio, limitada sólo por el declive natural de la vejez.

Como veremos, por lo general los cambios en el cerebro se producen en función del uso. Lo que no se usa se pierde. Normalmente, a diferencia de los ordenadores, no podemos aprender una destreza nueva y conservarla para siempre si no practicamos. El cerebro se adapta continuamente a su entorno. Las investigaciones sobre la plasticidad del cerebro adulto han sacado provecho de técnicas de neuroimágenes como RMf o TEP, así como de estudios sobre recuperación de la función cerebral en pacientes con lesiones cerebrales.

Recordando el camino

El *hipocampo* es una estructura con forma de caballito de mar que está situada en niveles profundos del cerebro y es fundamental para la navegación y la memoria espaciales. El hipocampo es la parte del cerebro que nos ayuda a recordar dónde están las cosas o nuestro camino a casa. Ciertas investigaciones con ratas han demostrado que las denominadas «células de lugar» del hipocampo descargan cuando el animal se desplaza por su entorno: cada célula responde a una localización específica. Estos estudios sobre el hipocampo de las ratas, llevados a cabo en la década de 1970 por John O'Keefe, de la Universidad de Londres, fueron los primeros en señalar que el hipocampo crea y almacena mapas del espacio.

Recientes estudios de imágenes funcionales, realizados asimismo en la Universidad de Londres por O'Keefe en colaboración con Neil Burgess y Eleanor Maguire, han confirmado que el hipocampo almacena recuerdos espaciales también en los seres humanos. En un experimento, se efectuaron escáneres a un grupo de voluntarios mientras navegaban por una ciudad virtual: como en un videojuego, tenían que desplazarse por una ciudad complicada, sorteando calles, casas, habitaciones, gente y objetos. Antes del experimento, los participantes

habían aprendido el trazado de la ciudad familiarizándose con el juego durante un par de horas. En el escáner, se les proporcionaba una lista de objetos situados en la ciudad virtual (como un libro, una mesa, una puerta roja o un cubo de la basura), que tenían que encontrar recordando dónde estaban antes y moviendo el mando hacia ellos.

Cuando más tarde los investigadores analizaron los escáneres cerebrales, observaron que el hipocampo estaba muy activado durante esta tarea de memoria espacial. Ahora bien, se trataba de una tarea ciertamente difícil, y unos participantes recordaron mejor que otros dónde se hallaban los objetos. ¿Cuál podía ser la explicación de estas diferencias individuales en la memoria espacial? Un resultado del estudio era que la actividad hipocampal aumentaba con la precisión de la navegación. Cuanto mejores eran los navegadores, más actividad hipocampal mostraban. Esto da a entender que la actividad en el hipocampo está relacionada directamente con una mejor memoria espacial, siendo quizá una

FIGURA 9.1. *Londres es una ciudad enorme, y resulta complicado circular por ella. En el mapa se aprecia una minúscula porción del centro.*

de sus causas. De todos modos, no podemos descartar lo contrario: que recordar más pueda causar más actividad en el hipocampo.

Estos experimentos con videojuegos aportan pruebas claras de que el hipocampo es clave para la memoria espacial en animales y seres humanos. ¿Qué tiene que ver esto con la plasticidad del cerebro? Bueno, la pregunta debería ser más bien: ¿Qué pasa en el cerebro cuando nos volvemos navegadores expertos? Para contestarla, los investigadores de Londres recurrieron a un grupo de personas que habían llegado a ser expertos en navegación espacial.

APRENDIENDO A SER TAXISTA EN LONDRES

Los taxistas de Londres han de ser navegadores expertos. Cada día han de ir de un sitio a otro, recordando el complicado trazado de las calles, evitando las de sentido único o los callejones sin salida, errores que salen caros. La mayoría de ellos son sumamente hábiles. De hecho, para conseguir la licencia de taxista, hay que aprobar un examen llamado «El Conocimiento», que supone memorizar de la A a la Z unas 25.000 calles de la ciudad y centenares de monumentos y edificios importantes. En El Conocimiento se examina a los taxistas preguntándoles cómo irían de un lugar a otro de Londres —han de detallar la ruta exacta que tomarían, incluyendo si hay calles de sentido único, de acceso limitado, etcétera—. Así pues, ¿cómo llevan a cabo los taxistas esta proeza?

Eleanor Maguire y sus colegas hicieron escáneres del cerebro de estos expertos navegadores. Tomaron registros de la actividad cerebral de los taxistas londinenses mientras estos explicaban el complicado recorrido que seguirían para ir de una zona de Londres a otra. Por ejemplo, se les pidió que especificaran con todo detalle cómo irían desde Shepherd's Bush hasta Parliament Square. Todos realizaron bien la tarea.

Mientras los taxistas explicaban la ruta a seguir, el área activada era el hipocampo. Naturalmente, es lo que cabía esperar. Pero los investigadores observaron algo más. Tras comparar la estructura del cerebro de taxistas con la de no conductores de taxis de la misma edad, advirtieron significativas diferencias entre unos y otros respecto al tamaño del hipocampo: el hipocampo posterior era mucho mayor en los taxistas que en los otros. Además, este tamaño superior guardaba relación directa con el tiempo que el taxista había estado conduciendo, lo que da a entender que el tamaño del hipocampo posterior depende de cuánto tiempo ha utilizado la persona su memoria espacial. Esto es importante porque se rebate la posibilidad de que los individuos que nacen con un hipocampo posterior grande tengan mejores destrezas de navegación espacial y, por tanto, más posibilidades de llegar a ser taxistas. Los resultados de Maguire sugieren que es al revés: cuanto más utiliza uno sus destrezas de navegación espacial, más grande llega a ser su hipocampo posterior.

Otro resultado igualmente importante de este estudio fue que, en los taxistas, era más pequeña otra parte del hipocampo, el hipocampo anterior, cuyo tamaño también tenía que ver con la cantidad de tiempo que la persona había pasado al volante. Pero ahora la relación se invertía. En otras palabras, cuanto más tiempo llevaba el hombre como taxista, más pequeño se volvía su hipocampo anterior. Esto indica que cuando una parte del cerebro se desarrolla y crece gracias a la experiencia, puede que otras partes paguen un precio. ¡Además, de lo contrario, nuestra cabeza podría explotar!

FIGURA 9.2. *Los taxistas de Londres tienen una memoria espacial extraordinaria.*

Los sistemas de navegación actualmente incorporados a los coches permiten que cualquiera, al margen de su pericia o sus conocimientos, encuentre la ruta que busca. ¡Una buena noticia para quienes tienen problemas de orientación! Será interesante ver si en el futuro los taxistas de Londres usan sistemas de navegación en lugar de su hipocampo.

EN LAS AVES, EL TAMAÑO DEL HIPOCAMPO CAMBIA EN FUNCIÓN DE SU USO

Se sabe que el hipocampo sigue siendo plástico bien entrada la edad adulta. En las aves, el hipocampo cambia de tamaño, especialmente en las que parasitan los nidos de otras aves, pues han de saber y recordar dónde están las cosas. El tamaño hipocampal tiene que ver con el nivel de parasitismo del ave. Así, parece que el hipocampo puede cambiar de tamaño en función de cuánto lo usa el ave para recordar dónde están los nidos. Por lo visto, el tamaño del hipocampo tiene altibajos con arreglo a lo mucho o poco que se utilice.

Aprender a ser músico

¿A qué deben sus destrezas musicales los músicos expertos? Recientes investigaciones llevadas a cabo por Christo Pantev, de la Universidad de Münster, Alemania, han revelado que la parte del cerebro que procesa el sonido (la *corteza auditiva*, situada cerca de la superficie del cerebro, junto a los oídos de ambos lados) en los músicos expertos es un 25 % más grande que la de las personas que jamás han tocado un instrumento. Como ocurre con los taxistas, el agrandamiento guarda correlación con la edad a la que los músicos comenzaron a tocar. Este estudio indica nuevamente que la reorganización de la corteza auditiva depende del uso. Cuando más tiempo hayan estado los músicos tocando un instrumento, más habrán utilizado y estimulado su corteza auditiva.

En los músicos, no sólo cambia la parte cerebral que procesa los sonidos. También varían en función del uso las regiones del cerebro que controlan el movimiento y el tacto. Thomas Elbert, de la Universidad de Konstanz, Alemania, examinó a una serie de violinistas para observar la plasticidad cerebral. Los violinistas profesionales usan los dedos de la mano izquierda para tocar las cuerdas del violín, de modo que las yemas de los dedos de esta mano a menudo reciben estímulos varias horas al día. Los investigadores querían averiguar qué pasa en las partes del cerebro de los músicos que *representan* los movimientos de los dedos.

Recordemos (capítulo 1) que si se producen movimientos o sensaciones en un lado del cuerpo, es el lado opuesto del cerebro el que controla estos movimientos y procesa estas sensaciones. Cada dedo de la mano izquierda, y de hecho cada componente izquierdo del cuerpo, está representado en una parte de la porción superior del cerebro derecho denominada corteza sensoriomotora. Esto se conoce como *homúnculo sensorial* (véase figura 9.3.). En el lado derecho del cuerpo, representado en la corteza sensoriomotora izquierda, tiene lugar la situación inversa.

¿Cómo se produce esta organización? Las células cerebrales tienden a organizarse por sí mismas en redes que se acaban especializando en distintas clases de procesamiento de la información. Cuando el dedo toca una superficie, este estímulo sensorial activa neuronas de la corteza sensoriomotora del lado opuesto del cerebro. La representación de los dedos de la mano izquierda está en la corteza sensoriomotora derecha, y viceversa. El elevado nivel de actividad refuerza las conexiones en el grupo de neuronas estimuladas. Cada vez que se excita el mismo dedo, las conexiones en la red activada de neuronas se vuelven más y más fuertes, de modo que a la larga el grupo acaba especializado en el procesamiento del tacto en este dedo concreto.

De ello resulta que la representación de los dedos de la mano izquierda está en el hemisferio derecho del cerebro, y viceversa. Volvamos a los violinistas. Las investigaciones de Elbert pusieron de manifiesto que, en muchos intérpretes de instrumentos de cuerda, la representación de la mano izquierda en el hemisferio cerebral derecho es más grande que en los individuos que jamás han tocado uno de estos instrumentos. En cambio, la representación de los dedos no es mayor en el hemisferio izquierdo de estos violinistas. Esto no es ninguna sorpresa, pues la mano derecha mueve el arco, y hay mucho menos movimiento y estimulación de las yemas de sus dedos.

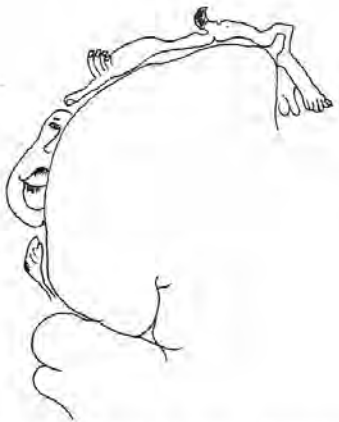


FIGURA 9.3. *Cada parte del cuerpo es procesada por una parte diferente de la corteza sensoriomotora. Esto recibe el nombre de* homúnculo sensorial. *La totalidad del cuerpo tiene una correspondencia en el cerebro, y cuanto mayor es el área asignada a una determinada parte del cuerpo, más sensible es ésta.*

Elbert también advirtió que cuanto antes empiece una persona en la infancia a tocar el violín, más grande será la representación de los dedos en el hemisferio derecho —siempre y cuando no deje de practicar—. Este estudio sugiere que el cerebro asigna una cierta cantidad de sinapsis al procesamiento de los dedos en función de lo mucho o poco que estos se utilicen. Por otro lado, un hallazgo crucial de esta investigación es que no son sólo los individuos que han estado tocando el violín toda su vida los que desarrollan representaciones mayores de sus dedos gracias a la práctica. Si comienzan a tocar el violín de adultos, también cambian las representaciones de sus dedos.

Pero las personas que dejan de tocar pierden a la larga su flexibilidad, y entonces es probable que las conexiones sinápticas se vuelvan a poner a cero. Sirve como analogía el cuerpo de un gimnasta. Con el ejercicio, el cuerpo de los gimnastas cambia, pero no para siempre. La falta de práctica modificará

su cuerpo de nuevo: desaparecerá la flexibilidad de los miembros, se debilitarán los músculos. De todos modos, pueden reconvertirse, volver a entrenarse. Con el cerebro pasa lo mismo: lo que no se usa se pierde.

LOS CAMBIOS CEREBRALES SON RÁPIDOS

No es sólo que el cerebro de los músicos expertos con una formación de años cambie en función de su uso. Ciertos estudios han demostrado que, en sólo cinco días, las áreas sensoriales y motoras del cerebro adulto pueden adaptarse conforme a lo mucho o poco que se utilizan. Alvaro Pascual-Leone y sus colegas estudiaron el papel de los cambios plásticos del sistema motor humano cuando se aprende a tocar el piano. Un grupo de adultos que no sabían tocar el piano aprendieron un ejercicio de piano de cinco dedos dos horas al día durante cinco días. En estos participantes, el área cerebral responsable de los movimientos de los dedos se volvió más grande y más activa que la de los individuos control que no habían aprendido el ejercicio. Así, un período relativamente breve de práctica puede influir en el cerebro de manera significativa.

Incluso cuando se asimilan asociaciones arbitrarias, en los adultos este aprendizaje está relacionado con cambios cerebrales rápidos. Désirée Gonzalo y Ray Dolan, de la Universidad de Londres, enseñaron a un grupo de voluntarios a asociar símbolos visuales arbitrarios a ciertos sonidos. Cuando los participantes aprendían que un sonido estaba emparejado con un color específico, las áreas visuales del cerebro —así como las auditivas— empezaban a responder a este sonido. Era como si las áreas visuales previeran que el estímulo visual aparecería normalmente con el sonido. También tenía lugar el patrón opuesto: la corteza auditiva, que está especializada en el procesamiento de sonidos, mostraba respuestas a un color asociado a un sonido concreto.

Estos resultados ponen de relieve la posibilidad de que las regiones cerebrales sensoriales, de las que tradicionalmente se ha pensado que responden en exclusiva a información de una modalidad sensorial, respondan también a estímulos de otras modalidades. Además, es posible inducir estas respuestas adaptativas con mucha rapidez. Los participantes en el experi-

mento habían estado aprendiendo las parejas color-sonido durante apenas unos minutos antes de que se les realizara un escáner cerebral.

Ciertos cambios cerebrales han de conservarse mediante la práctica

Por muy expertos que sean ya, los músicos profesionales han de practicar muchas horas al día. Así pues, no conviene dormirse en los laureles ni siquiera cuando uno ha alcanzado un grado elevado de destrezas y después de que se hayan revelado cambios inequívocos en el cerebro. Un estudio reciente, llevado a cabo por Arne May y sus colegas de la Universidad de Regensburg, Alemania, exploraron el cerebro de un grupo de individuos antes y después de que aprendieran a hacer juegos malabares. El cerebro de los que habían aprendido a realizar dichos juegos, practicando con tres bolas al menos un minuto diario durante tres meses, había cambiado. Dos regiones habían aumentado de tamaño: el *área temporal media* y el *surco intraparietal* posterior, los cuales procesan información visual del movimiento. Pero al cabo de tres meses, período en el que los participantes dejaron de hacer malabarismos, estas regiones habían recuperado su tamaño normal. Igual que el jardinero que cuida un jardín, también el maestro tiene una tarea inacabable.

La plasticidad como mecanismo de compensación

Hay muchos ejemplos de plasticidad que se produce como mecanismo compensatorio en personas que han perdido alguna función. Gemma Calvert y sus colegas de la Universidad de Oxford han demostrado que tiene lugar plasticidad compensatoria en personas sordas cuya corteza auditiva (la región cerebral que normalmente procesa el sonido) no se ocupa de los sonidos. La corteza auditiva de los sordos que leen los labios realmente empieza a responder a movimientos de la boca. Esto es sumamente útil, pues los sordos que leen los labios han de ser especialmente sensibles a los movimientos de la boca. En vez de volverse superflua, la corteza auditiva comienza a responder a otras señales que los individuos sordos necesitan procesar y comprender.

Del mismo modo, la corteza auditiva de las personas sordas que se comunican mediante el lenguaje de los signos empieza a responder a movimientos de las manos. Se trata de ejemplos notables de la capacidad del cerebro para adaptarse a circunstancias cambiantes.

En los ciegos que leen Braille se producen cambios adaptativos similares. En los ciegos, la corteza visual ya no está acostumbrada a procesar estímulos visuales. No obstante, ciertos estudios realizados por Christian Buchel en Londres y Norihiro Sadato en Japón pusieron de manifiesto que, en lugar de que esta enorme parte del cerebro permanezca inactiva, la corteza visual comienza a responder a señales sensoriales disponibles: el tacto del Braille. Esto es especialmente destacable porque las regiones cerebrales que normalmente responden al tacto (la *corteza somatosensorial*) se encuentran lejos de la corteza visual (véase figura 9.5). Con todo, la lectura Braille con los dedos sustituye a la visión y, como con-

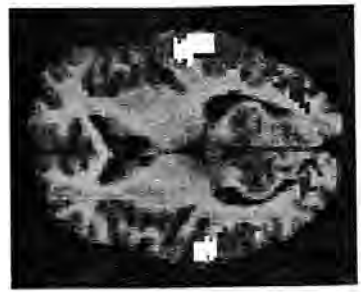


FIGURA 9.4. *La corteza auditiva está activada tanto cuando las personas oyen hablar como cuando leen los labios. La activación habitual de la corteza auditiva para la audición y la lectura de labios aparece en blanco en la figura, donde se aprecia un corte del cerebro por la mitad, visto desde arriba.* Fuente: figura 2 de Calvert et al. *Science* 1997; 276 (5312): 593-596. Copyright © 1997 de AAAS. Reimpreso con autorización de los autores y AAAS.

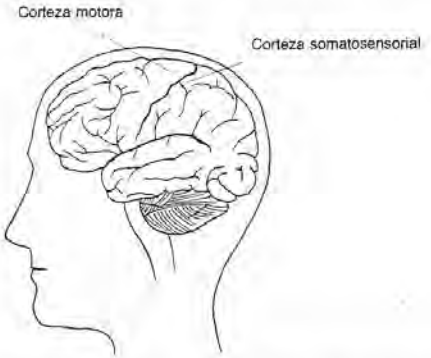


FIGURA 9.5. *La región cerebral que normalmente responde al tacto (la corteza somatosensorial) se halla lejos de la corteza visual del cerebro. No obstante, la lectura Braille con los dedos sustituye a la visión y, debido a ello, la corteza visual asume la función de procesar información táctil.*

secuencia de ello, la corteza visual asume la función de procesar información táctil. Este tipo de hallazgos subrayan la capacidad adaptativa del cerebro para modificar su función de acuerdo con el uso.

En el cerebro de los que leen Braille puede producirse otro cambio adaptativo. Hay lectores de Braille que usan sólo un dedo mientras que otros usan varios a la vez. Tal como vimos antes, por lo general cada dedo está representado individualmente en la *corteza sensoriomotora* del cerebro. No obstante, las personas que para leer Braille utilizan simultáneamente varios dedos, en lugar de tener varias representaciones separadas de las diferentes yemas de los dedos desarrollan una representación grande, fusionada, de todos los dedos de la mano que lee Braille en el lado opuesto del cerebro. Cuando estos individuos leen Braille con los dedos, una gran masa de información procedente de las yemas es enviada a los centros cerebrales donde se fusiona. Una consecuencia de esta representación fusionada de los dedos es que estas personas perciben al mismo tiempo toda la información tác-

til derivada de las diferentes yemas de los dedos. Por lo tanto, a diferencia de la mayoría de las personas, que pueden distinguir fácilmente sensaciones en cada dedo individual, estos lectores de Braille no son capaces de determinar de dónde viene la información. Si se les toca uno de los tres dedos que usan para leer, los lectores de Braille no están seguros de qué dedo ha sido tocado.

Tenemos una analogía de este fenómeno en los dedos de los pies de la mayoría de la gente. Por lo común, los dedos de los pies no están representados en el cerebro por separado. No utilizamos los dedos de los pies de manera independiente, por lo que su representación en el cerebro está fusionada. Debido a esta representación fusionada, si se toca un dedo del pie, es muy difícil saber cuál de ellos ha recibido el contacto.

Por contraste, los lectores de Braille que usan un solo dedo no tienen una representación «fundida» de los dedos, sino que el dedo utilizado tiene una representación más grande. Los lectores de Braille que usan tres dedos suelen leer mejor que los que se valen de uno solo.

Este tipo de adaptación puede producirse en adultos. En los individuos que aprenden a leer Braille de adultos el grado de adaptación es menor que en los que empiezan de niños, especialmente si es antes de los diez años. De todos modos, en la representación de los dedos que se aprecia en la corteza sensoriomotora del cerebro del aprendiz adulto se dan igualmente importantes cambios adaptativos.

El cerebro es capaz de «realojar la función»: las células cerebrales pueden cambiar el cometido específico que llevan a cabo con arreglo a lo mucho o poco que se usen. Tal como hemos señalado, cuando los ciegos leen Braille, la parte de su cerebro que normalmente procesaría visión procesa ahora tacto. Tras una apoplejía, el cerebro se repara a sí mismo, al menos hasta cierto punto. Muchas víctimas de apoplejía, con fisioterapia y esfuerzo pueden recuperar buena parte de su función motora perdida, en algunos casos en cuestión de semanas. El cerebro es capaz de reasignar recursos, y así las funciones que antes estaban controladas por la parte dañada lo están ahora por otra parte que funciona. Esta útil estrategia se vale de una porción de la corteza que en un principio estaba destinada a otra finalidad distinta, bien que relaciona-

da. Esta abundancia de pruebas de que el cerebro sigue siendo plástico y flexible en la edad adulta tiene importantes repercusiones en el aprendizaje a lo largo de la vida. Quizá no todas las regiones cerebrales pueden asumir una nueva función; pero esto aún no lo sabemos.

¿Por qué es plástico el cerebro?

Evidentemente, no podemos considerar el cerebro adulto como algo rígido. Incluso en la edad adulta, las conexiones entre las neuronas no son fijas y pueden cambiar en función del uso, lo que en efecto hacen. Toda la comunicación entre las neuronas tiene lugar en las uniones sinápticas (véase capítulo 1, figura 2.1 y apéndice para los detalles). Las denominadas *espinas dendríticas*, que son protuberancias diminutas de las dendritas de la neurona, establecen contacto con la sinapsis de la(s) neurona(s) más próxima (s). Establecen este contacto al facilitar la transmisión de sustancias químicas a través del espacio sináptico. Bajo determinadas condiciones, estas espinas dendríticas se retraen e interrumpen el contacto; en otras circunstancias, crecen (ellas u otras espinas nuevas) para formar un contacto nuevo.

Investigaciones realizadas por Leif Finkel y Gerald Edelman, de la Rockefeller University, han puesto de relieve que las neuronas no actúan de manera aislada, sino que interaccionan con muchas otras y forman redes neurales. Las neuronas se organizan en grupos, cada uno de los cuales acaba especializándose en el procesamiento de un tipo específico de estímulo. Por ejemplo, si se toca un dedo, el estímulo del tacto se procesa en una red neural de la *corteza somatosensorial*. La información del tacto activa más un grupo de neuronas que otros. En el seno de este grupo, el elevado nivel de actividad hace que se refuercen las conexiones entre las neuronas. Cada vez que se toque el dedo de la misma manera, se activará el mismo grupo de neuronas, y cada vez se fortalecerán las conexiones entre ellas. Si se estimula repetidamente el grupo de neuronas, las conexiones en su seno se vuelven cada vez más fuertes. A la larga, el grupo activado llega a estar especializado en el procesamiento del sentido del tacto en este dedo.

Este tipo de proceso fue propuesto hace más de medio siglo por el neurofisiólogo canadiense Donald Hebb en su libro *Organization of Behavior*. Al respecto escribió: «Cuando un axón de una célula A está lo bastante cerca para estimular una célula B, y repetida o persistentemente toma parte en la descarga de ésta, tiene lugar cierto proceso de crecimiento o cambio metabólico en una o ambas células de tal modo que aumenta la eficacia de A como célula que origina la descarga de B». Esto significa que cuando una neurona envía señales a otra, y esta segunda neurona resulta activada, se refuerza la conexión entre las dos. Cuanto más active una neurona a otra, más fuerte se vuelve la conexión entre ambas. Algunos neurocientíficos recuerdan esto mediante la expresión: «¡Los que descargan juntos se cablean juntos!»

Con cada experiencia nueva, el cerebro recablea ligeramente su estructura física. Esta idea sobre cómo las neuronas instalan nuevo cable en función de la experiencia recibe el nombre de *aprendizaje hebbiano*, en honor a quien la propuso. El aprendizaje hebbiano es una teoría, un concepto sobre cómo las neuronas pueden aprender recableando ligeramente sus conexiones. El trabajo con neuronas vivas ha revelado un posible mecanismo mediante el cual acaso se produzca el aprendizaje hebbiano. Se conoce como *potenciación a largo plazo* o PLP. La PLP se define como un incremento duradero (de más de una hora) en la eficiencia de una sinapsis, que resulta de la actividad neuronal entrante. La PLP origina conexiones más fuertes entre las células nerviosas y da lugar a cambios perdurables en las conexiones sinápticas. Se cree que estos cambios en las conexiones son responsables del aprendizaje y la memoria. En 1973, Tim Bliss y Terje Lomo, del Centro de Investigación Médica Mill Hill de Londres, descubrieron la PLP en el hipocampo.

Otra descripción de la PLP procede de investigaciones con aplysia, una babosa marina, llevadas a cabo por Eric Kandel, de la Universidad de Columbia, en las que se observó que las conexiones neuronales del animal se fortalecían a medida que éste aprendía a asociar comida que no le gustaba con la presencia de un rayo de luz. Kandel y sus colegas advirtieron que si se estimulaban a la vez dos neuronas conectadas, la cantidad de señal química que pasaba de una a otra podía duplicarse.

Así pues, no sólo la estructura física del cerebro cambia ligeramente con la experiencia, sino que el aprendizaje modifica también sus características químicas. Aún hay que verificar si esto es algo permanente. De todos modos no hay duda de que, para una adaptación óptima, no todo aprendizaje debería ser permanente.

Ejercicio físico y el cerebro

Las incipientes investigaciones con animales y seres humanos indican que el ejercicio físico puede potenciar la función cerebral, mejorar el estado de ánimo e incrementar el aprendizaje. El ejercicio físico desencadena en el cerebro cambios químicos que estimulan el aprendizaje en los ratones.

En un estudio realizado por Henriette van Praag, Fred Cage y Terrance Sejnowski, de California, ratones genéticamente idénticos fueron separados en dos grupos. Uno fue alojado en jaulas sólo con comida y agua, mientras que el otro tenía también acceso a una rueda giratoria. A los ratones les encanta correr: los que disfrutaban de la rueda corrían un promedio de cinco kilómetros cada noche. Al cabo de seis semanas, se analizó en los ratones de ambos entornos su capacidad para encontrar la salida de un laberinto complicado. Los que habían tenido acceso a la rueda giratoria aprendían mejor que sus iguales sedentarios. Habida cuenta de que los ratones eran genéticamente idénticos, la diferencia en el aprendizaje sólo puede deberse a diferencias en sus respectivos entornos. El único aspecto ambiental que difería entre los dos grupos era la cantidad de ejercicio físico que los animales eran capaces de hacer. Partiendo de este experimento, al menos podemos llegar a la conclusión de que el ejercicio físico parece ser bueno para el aprendizaje.

A continuación se examinaron los cerebros de ambos grupos de ratones para determinar el número de células y la capacidad de las mismas para conservar la PLP. Tal como hemos señalado antes, se sugiere que la PLP es el fundamento de la formación de memorias a largo plazo. Las células cerebrales del *hipocampo* (una de las regiones del cerebro responsables del aprendizaje y la memoria) de los ratones con ruedas casi doblaban en número a las de los ratones inacti-

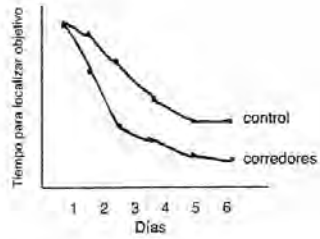


FIGURA 9.6. *Al cabo de seis semanas, los ratones que habían podido correr encontraban más rápidamente un objetivo en un laberinto que los que no habían tenido rueda giratoria. Además, la amplitud de la PLP en el hipocampo era superior en los que habían corrido.* Fuente: adaptado de figura 1 de van Praag et al. *Nature Neuroscience* 1999; 2(3): 266-270. Copyright © 1999 de Nature Publishing Group. Con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

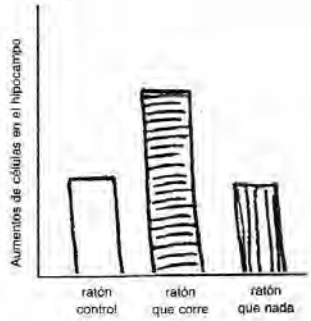


FIGURA 9.7. *En los ratones a los que se había permitido correr se incrementó el número de sinapsis del hipocampo. Esto no se cumplía en los ratones que no habían hecho ejercicio (ratones control) o en los que habían nadado. Fuente: adaptado de figura 2 de van Praag et al.* Proceedings of the National Association of Sciences *96 (23): 13427-13431 (1999). Copyright © 1999 de National Academy of Sciences, EE.UU. Con autorización de National Academy of Sciences y los autores.*

vos. Además, las células cerebrales de los ratones que corrían eran más capaces de preservar la PLP que los sedentarios. El mayor número de células en el hipocampo y el incremento en la PLP quizá expliquen por qué el ejercicio favorece el aprendizaje.

LOS CEREBROS ADULTOS PUEDEN DESARROLLAR CÉLULAS NUEVAS

Lo más fascinante de estos resultados es que debilitan la idea de que en el cerebro adulto no pueden desarrollarse células nuevas —todos los ratones del estudio eran adultos—. Esto no sólo vale para los ratones, sino también para ciertas regiones del cerebro adulto humano. En un reciente estudio de los mismos investigadores suecos y americanos se observó que en el hipocampo humano adulto pueden dividirse y desarrollarse células nuevas. Esto acaba con el dogma de que nacemos con todas las células cerebrales que llegaremos a tener en la vida y que no puede formarse ninguna más. Naturalmente, no es cuestión de que crezcan más y más células. De hecho, todos perdemos células cerebrales, y con rapidez a partir de los cuarenta años. Pero las nuevas investigaciones ponen de manifiesto que tal vez haya formas de sustituir al menos algunas de las células perdidas en ciertas regiones cerebrales.

TERAPIA FÍSICA

El ejercicio físico tiene un efecto positivo en las sustancias químicas del cerebro que alteran el estado de ánimo; de hecho, en algunas personas puede por sí solo actuar como antidepresivo. El ejercicio físico se usa a menudo para tratar la depresión y otros problemas de salud mental. Se ha observado que es eficaz para mejorar el estado de ánimo en aproximadamente el 60 % de las personas con depresión, cifra que se eleva hasta el 80 % si el ejercicio se combina con alguna otra clase de tratamiento. La terapia física puede acelerar el proceso de recuperación en individuos que han sufrido apoplejías o lesiones cerebrales. Además, la actividad física diaria mejora el aprendizaje y la capacidad mental general en

pacientes que se restablecen de apoplejías o lesiones en la cabeza así como en personas sanas de edad avanzada. No obstante, es difícil saber cuál es la causa y cuál el efecto: quizá estos pacientes hacían más ejercicio porque se estaban recuperando, y no al revés.

EJERCICIO FÍSICO Y EDUCACIÓN

Sabemos desde hace tiempo que el ejercicio físico mejora la salud y el bienestar general. Actualmente, los consejos sanitarios subrayan continuamente que el ejercicio físico es el estado normal para el que hemos sido diseñados los seres humanos, de ahí que sea bueno. Cada vez hay más personas que siguen algún régimen de ejercicios físicos, y a medida que se han desarrollado estilos de vida más sedentarios, han surgido gimnasios por todas partes. Algunas empresas incluso tienen su propio gimnasio, pues el ejercicio físico regular tiene claras ventajas en lo referente a los niveles de salud y vitalidad de los trabajadores. Al parecer, el ejercicio tiene otra cualidad favorable: hace que el cerebro aprenda con un mayor rendimiento.

Es probable que los efectos positivos del ejercicio físico sean iguales en el cerebro de los niños. Al incrementar la capacidad de los glóbulos para absorber oxígeno, el ejercicio mejora no sólo las funciones muscular, pulmonar y cardíaca, sino también la función cerebral. Un estudio llevado a cabo en Inglaterra demostró que los niños que realizan sólo cinco minutos de ejercicios sencillos (saltar sin moverse de sitio, agitar los brazos alrededor, etcétera) antes de la clase rinden más. Por lo visto, tienen más motivación y asimilan materiales de manera más eficiente que cuando no hacen ejercicio.

EJERCITAR EL CEREBRO

De los cien mil millones de neuronas del cerebro, se ha conjeturado que a partir de los cuarenta años perdemos aproximadamente cien mil al día. No sabemos si esto es bueno o malo. Quizá perder células sea una parte necesaria del aprendizaje.

Cada vez aparecen más pruebas que dan validez a la idea de que lo que no se usa se pierde. ¡«Ejercitar» el cerebro a diario es desde luego lo que hacemos al estar vivos! Utilizar el cerebro de formas inhabituales puede estimular la formación de conexiones nuevas. La resolución de distintos tipos de problemas originará diferentes clases de procesos de pensamiento mientras se buscan estas soluciones.

La enseñanza y el aprendizaje son aplicables a todas las edades e incluyen conocimientos culturales en diversas esferas así como destrezas emocionales, sociales, motoras y de comunicación. Las ideas y los hallazgos neurocientíficos son de potencial importancia en todos estos campos, en los cuales, no obstante, los logros de los estudios cerebrales son aún escasos.

Poderes ocultos del cerebro

Los investigadores que estudiaban los monos no habían visto a estos animales utilizar herramientas hasta hace muy poco. Esto difiere del caso de los chimpancés, que pueden coger insectos desde la corteza del árbol mediante un palo. Al

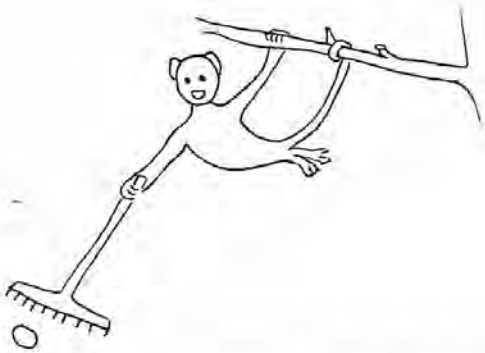


FIGURA 9.8. *Es posible adiestrar a los monos a usar un rastrillo para conseguir comida. Esta es la primera vez que se ha enseñado a monos el uso de herramientas.*

parecer, el uso de herramientas fue un paso importante en la evolución de la humanidad, amén de un logro muy especial del cerebro. En general, se daba por sentado que jamás se podría enseñar a utilizar herramientas a la mayoría de los animales, entre ellos los monos. Pero en la evolución, normalmente las capacidades nuevas aparecen de repente. Y a menudo se basan en aptitudes latentes ya existentes.

Atushi Iriki, de la Universidad de Tokio, se negó a creer que no se pudiera enseñar a los monos a usar herramientas, pues había advertido que, de vez en cuando, estos animales agarraban una rama con frutos y la acercaban. Esto no es exactamente utilizar una herramienta, pero sí algo en lo que basarse. El propósito de Iriki era proporcionar a los monos percepciones nuevas sobre el uso de un rastrillo. Y en una serie considerable de estudios lo consiguió.

Con el rastrillo que suministró Iriki, los monos podían coger comida que, si no, estaba fuera de su alcance. Asombrosamente, tras un largo período de entrenamiento de unos tres meses, los monos fueron capaces de utilizar el rastrillo como herramienta. Podían usarlo incluso para agarrar otro rastrillo de mango más largo cuando necesitaban coger comida situada más lejos. Su conocimiento había llegado a generalizarse y se parecía mucho a la comprensión. Ahora los monos empleaban el rastrillo de una manera natural y espontánea si les convenía. Convincentes vídeos documentaron este éxito.

Al mismo tiempo que los monos se volvían conscientes del poder del rastrillo como herramienta, se producían cambios en su cerebro. Ciertas células de la *corteza parietal* sólo llegaban a ser activas después de que se hubiera aprendido la función del rastrillo.

Curiosamente, Iriki también descubrió cómo adiestrar más deprisa el cerebro de los monos. Ahora sólo precisa dos semanas para lograr la gran proeza. El motivo de que el período de entrenamiento no pueda acortarse más tiene que ver con el tiempo necesario para que el cerebro modifique sus respuestas.

Visto que se puede enseñar a los monos el uso de herramientas, algo que nadie creía, podríamos preguntarnos qué poderes ocultos alberga el cerebro *humano*. Quizá la capacidad de nuestro cerebro para procesar el lenguaje en su forma escrita correspondía a la liberación de facultades cerebrales en las que no se había reparado hasta el momento.

Capítulo 10

APRENDER Y RECORDAR

Diferentes tipos de aprendizaje y memoria

Una de las aportaciones que es capaz de hacer la educación a la neurociencia es aclarar la naturaleza del propio aprendizaje. Es improbable que haya un solo tipo multiuso de aprendizaje para todo. En lo referente a las estructuras cerebrales implicadas, aprender matemáticas difiere de aprender a leer, que a su vez difiere de aprender a tocar el piano. Cada sistema de memoria depende de un sistema cerebral diferente y se desarrolla en un momento ligeramente distinto. Recordar quiénes somos no es lo mismo que recordar dónde estamos.

Las *memorias episódicas* de sucesos o episodios determinados de nuestra vida, por ejemplo el primer día de escuela o el último cumpleaños, y las *memorias semánticas* de nombres, números, fechas y hechos se procesan en áreas cerebrales diferentes. Estas dos clases de memoria se diferencian de la *memoria procedimental* de destrezas como atarse los cordones o caminar. Estas memorias, y aun otras, se procesan en el cerebro por separado y, como veremos, pueden existir aisladamente unas de otras. El aprendizaje puede ser *implícito* o *explícito*. Es decir, unas veces no somos conscientes de que aprendemos y otras nos damos perfecta cuenta de ello.

Unos y otros sistemas de memoria dependen de sistemas cerebrales distintos y se desarrollan en momentos diferentes. El tipo más básico de memoria es uno del que ni siquiera somos conscientes y sobre el que tenemos poco control. Recibe el nombre de *memoria condicionada*. El lector acaso haya oído hablar del fisiólogo ruso Ivan Pavlov, cuyos experimentos con perros a principios del siglo pasado establecieron la teoría psicológica de la *respuesta condicionada*. Los perros de Pavlov salivaban cada vez que oían una campanilla que previamente habían aprendido a asociar con que les dieran comida. Esto es un tipo de respuesta condicionada, sobre la cual los perros no tienen ningún control.

También puede producirse condicionamiento si cierta comida nos sienta mal. Después de esto, quizá nos sintamos mal sólo con oler o pensar en ella, de modo que en general la evitaremos. Una sola experiencia mala con la comida puede hacer que la rechacemos de forma definitiva. Esto se ha incorporado al cerebro a lo largo de la evolución. Al fin y al cabo, es una cuestión de vida o muerte. Si no aprendemos a evitar los alimentos tóxicos, podemos vernos en apuros.

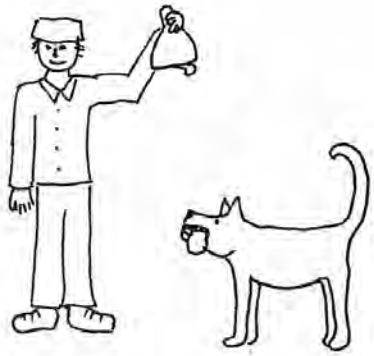


FIGURA 10.1. *Ivan Pavlov observó que los perros salivaban cada vez que oían una campanilla que anteriormente habían asociado con el hecho de recibir comida.*

Una conocida respuesta condicionada que ha sido estudiada en seres humanos es la denominada «respuesta del parpadeo del ojo». Una ligera ráfaga de aire en el ojo hace que éste parpadee; si al mismo tiempo se hace sonar un tono, al cabo de unos cuantos ensayos el tono por sí solo suscitará el parpadeo. El cerebro ha aprendido a asociar un tono a una molesta ráfaga de aire. Se cree que esta clase de respuestas condicionadas son controladas, al menos en parte, por el *cerebelo*. Incluso los bebés muy pequeños exhiben respuestas condicionadas.

Un tipo similar de memoria recibe el nombre de *aprendizaje condicional*. Tiene lugar cuando aprendemos una acción con el fin de producir una respuesta. Los bebés empiezan a desarrollar aprendizaje condicional desde los tres meses, aproximadamente. Los bebés de tres meses asimilan enseguida que darle un puntapié a una figurita móvil colgada dota a ésta de movimiento, ¡o qué llorar da como resultado que aparezcan inmediatamente papá o mamá!

Siguiendo a partir de ahí tenemos la memoria del movimiento y las destrezas motoras, que se denomina *memoria procedimental*, capacidad que depende de los *ganglios basales*. Al nacer, estas estructuras cerebrales profundas no están plenamente desarrolladas, pero hacia los tres meses ya están funcionando. A la misma edad, los bebés comienzan a mostrar aprendizaje procedimental. Poco a poco empiezan a aprender que, por ejemplo, coger un juguete de determinada manera les permite sujetarlo y manipularlo. Gradualmente, los procedimientos que aprenden de forma natural se vuelven más sutiles e incluyen gatear, ponerse de pie y a la larga caminar. Para el cerebro es muy complicado aprender todas estas cosas, por lo que no sorprende demasiado que sea tan grande la proporción del mismo dedicada a aprender y llevar a cabo destrezas de movimiento como estas. Las regiones cerebrales involucradas son en buena parte distintas de las responsables de aprender hechos y recordar sucesos.

Está claro que los bebés pueden aprender desde el mismo principio sin ser conscientes de ello. Sobre el mundo en el que viven, los niños saben tácitamente un montón de cosas mucho

antes de poder hablar sobre ellas. También en los adultos buena parte de los conocimientos parecen ser implícitos. Esto lo vemos al intentar explicar cómo se va en bicicleta sin montarnos en una. En la acción de ir en bicicleta hay muchos componentes que sencillamente no se pueden describir. Estamos ante un ejemplo de memoria procedimental implícita, aunque seguramente también aprendemos de esta manera toda clase de hechos y secuencias. Estas informaciones aprendidas implícitamente acaso contribuyan a sensaciones de instinto cuando, por alguna razón, escogemos una cosa y no otra sin saber realmente por qué.

La enseñanza supone a menudo hacer explícitos conocimientos procedimentales o implícitos. Por ejemplo, los maestros han de enseñar a leer, a pintar y a tocar el violín. Saber cómo o cuándo hacer explícitas las reglas probablemente es un determinante importante de la enseñanza efectiva. ¿Cuándo puede la enseñanza explícita sustituir al aprendizaje implícito? ¿Es siempre provechoso un cierto grado de aprendizaje implícito previo? Es posible que el respaldo más eficaz al aprendizaje sea una dialéctica recíproca entre el aprendizaje implícito y el explícito.

EL PODER DEL APRENDIZAJE IMPLÍCITO

Muchos años de investigaciones sobre el aprendizaje implícito han revelado que las personas son capaces de aprender información sin ser conscientes de ello. El cerebro puede procesar y almacenar información sin que nosotros lo sepamos. En el aprendizaje explícito, aprendemos información conscientemente y sabemos muy bien que la hemos aprendido. Algunas tareas dependen del aprendizaje explícito. Es interesante hacer conjeturas sobre el hecho de que algunos individuos puedan desarrollar más aprendizaje explícito que otros.

Se observa normalmente memoria implícita cuando experimentamos una vaga sensación de familiaridad. A menudo preferimos también los objetos, las personas o los hechos identificados como conocidos, aunque acaso no sepamos por qué. En numerosos experimentos psicológicos se ha estudiado esta singular capacidad; y se ha observado que los individuos pueden aprender reglas complejas al verse expuestos a secuencias que se atienen a dichas reglas, sin tener ninguna noción explícita de las mismas ni haberlas aprendido. No obstante, ciertas personas tal vez conozcan parte de las reglas o tengan la sensación de reconocerlas cuando se les muestran.

En un experimento típico, se enseña a una serie de voluntarios una secuencia de muchos cientos de letras y se les dice que ésta sigue diversas «reglas». Por ejemplo, la secuencia

H D S S O H D F S S A H D

cumple las normas siguientes: H va seguida de D; S siempre se repite y la segunda S va seguida de vocal; a las vocales les sigue la H.

A los voluntarios no se les explica ninguna de estas reglas, pero, tras haber sido expuestos sin más a muchas series de letras que se ajustan a las mismas, suelen captar las regularidades. Esto se pone de manifiesto en los tiempos de reacción cada vez más cortos, lo que da a entender que, al cabo de un rato, es posible prever el siguiente elemento de la secuencia. Si se introducen letras que incumplen la regla, en este punto los tiempos de reacción aumentan.

Aunque por lo general los participantes en este experimento afirman no tener ninguna pista y a menudo consideran que la prueba es frustrante —es como si cada respuesta fuera una simple conjetura—, en realidad las respuestas revelan que han asimilado las reglas. Ni que decir tiene que los voluntarios de estos experimentos normalmente se quedan asombrados ante sus resultados.

Así, ¿qué está pasando en el cerebro cuando aprendemos algo en este nivel inconsciente, implícito? Mediante *tomografía de emisión de positrones* (*TEP*, véase apéndice), Jonathan Cohen y sus colegas de la Universidad de Pittsburgh cartografiaron las regiones cerebrales que son responsables del aprendizaje implícito de secuencias. Los voluntarios llevaron a cabo la tarea que acabamos de describir. No tenían ni idea de estar aprendiendo nada.

En cuanto los participantes estuvieron preparados, se les efectuó un escáner. Cuando se producía un ligero cambio en la naturaleza de la secuencia, esto se traducía en un incremento del flujo sanguíneo en una red de regiones cerebrales que com-

prendían el *área premotora* y la *corteza cingulada anterior* izquierda así como parte de los *ganglios basales* en la derecha. El flujo sanguíneo disminuía cuando se observaba un incumplimiento de las reglas en la *corteza prefrontal* derecha. Estos cambios sugieren que estas regiones reaccionan ante la infracción de las normas, lo cual puede producirse sin que seamos conscientes de ello. El cerebro nota cosas que a nosotros nos pasan inadvertidas.

Aprender y recordar destrezas

El *aprendizaje procedimental* de una destreza, como ir en bicicleta o lanzar una bola de cricket, difiere del aprendizaje de hechos y del recuerdo de sucesos. Los amnésicos que han sufrido lesiones en el *hipocampo* serán incapaces de retener recuerdos de sucesos nuevos en su vida. De todos modos, a menudo sí aprenden habilidades procedimentales nuevas y conservan destrezas adquiridas antes de la lesión cerebral.

FIGURA 10.2. *Se enseñó a los participantes a aprender una secuencia de letras que se ajustaban a varias reglas gramaticales. Los participantes lograron aprender las reglas gramaticales de manera implícita, tal como se aprecia en la disminución gradual de los tiempos de reacción para Gramática 1 en el primer gráfico. De vez en cuando cambiaban las reglas (Gramática 2). Ninguno de los individuos advirtió conscientemente la violación de la norma, pero ésta dio como resultado un incremento de los tiempos de reacción. En el escáner se vio que, cuando se incumplía la regla, aumentaba la actividad en la* corteza cingulada anterior *y los* ganglios basales. Fuente: adaptado de figuras 2 y 3 de Berns et al. *Science* 1997; 276(5316): 1272-1275. Copyright © 1997 de AAAS. Reimpreso con autorización de los autores y AAAS.

FIGURA 10.3. *Para aprender a ir en bicicleta lo que se requiere es memoria procedimental, distinta de otras clases de memoria, como la semántica o la episódica.*

Un paciente muy amnésico conocido como Clive, que ha sido supervisado por neuropsicólogos durante muchos años, sufrió una lesión grave en el hipocampo a causa de una encefalitis. Antes de su enfermedad, Clive dirigía un prestigioso coro de un *college* de Cambridge. La capacidad de Clive para formar memorias a corto plazo casi ha desaparecido. No recuerda nada de hechos acaecidos hace más de cinco minutos, si bien puede reconocer a su esposa y sabe quién es él. Ha conservado recuerdos de antes de la encefalitis; simplemente no es capaz de formar recuerdos nuevos. Su esposa dice de él que es «como si ya no fuera consciente». Clive escribe un diario, en el que cada entrada empieza con algo así como «soy consciente por primera vez», y tacha debidamente la entrada anterior, en la que había escrito algo similar. Así pues, al parecer lo que le falta es continuidad de la consciencia de un momento al siguiente.

Pese a haber tenido un efecto perjudicial en su memoria a corto plazo para los sucesos, la encefalitis no pareció afectar a la memoria de Clive para las destrezas motoras. Es capaz de tocar el piano tan estupendamente como antes de la lesión en el hipocampo, aunque no se acuerda de haberlo tocado jamás ni del *college* donde trabajó tantos años. Puede dirigir un coro perfectamente, como antes de la enfer-

medad, si bien no recuerda haber visto antes a sus miembros ni haber dirigido en su vida. Tampoco ha olvidado el lenguaje, por lo que puede hablar y escribir frases gramaticalmente correctas. La asimetría de sus capacidades memorísticas es asombrosa.

Con frecuencia los amnésicos son capaces de adquirir destrezas nuevas a pesar de no recordar de manera explícita que se las hayan enseñado. Sus recuerdos son implícitos o subconscientes. Esto se debe a que en los pacientes como Clive los *ganglios basales* permanecen intactos. Los ganglios basales todavía son capaces de aprendizaje procedimental y de preservar destrezas de movimientos adquiridas previamente. Los pacientes amnésicos no tienen dificultad alguna para andar o hablar, habilidades motoras adquiridas por los ganglios basales. Los individuos con daño selectivo en el hipocampo pueden también aprender destrezas nuevas, como ir en bicicleta o tocar el piano, aunque sean incapaces de formar los recuerdos explícitos de haber recibido estas enseñanzas.

Se observa el patrón opuesto en personas con la enfermedad de Parkinson, cuyos ganglios basales funcionan de manera anómala. Por lo general, estos individuos tienen buena memoria para episodios y hechos, pero parecen ser incapaces de aprender habilidades nuevas. Así, tenemos aquí una *disociación doble* entre aprender hechos y aprender destrezas motoras. Esto se ha confirmado en estudios recientes con imágenes funcionales, que han puesto de manifiesto actividad en el hipocampo pero no en los ganglios basales cuando se aprenden hechos nuevos, y actividad en los ganglios basales pero no en el hipocampo cuando se aprenden destrezas motoras nuevas.

Memoria de trabajo

La *memoria de trabajo* es un sistema de memoria que empieza a desarrollarse en el primer año de vida. Es este el sistema que nos permite guardar y manipular información *on line*, en línea. Mientras estamos despiertos, dependemos constantemente de la memoria de trabajo, pues nos permite tener presente información mientras hacemos cualquier otra

cosa. Sin memoria de trabajo sería imposible mantener una conversación, leer esta frase, sumar mentalmente o marcar un número de teléfono. Se ha comparado la memoria de trabajo con una pizarra mental que se puede borrar y nos permite conservar brevemente información en la cabeza y manipularla, ya se trate de palabras, precios de menús o números de teléfono.

En 1971, Joaquín Fuster, de la Universidad de California de Los Ángeles, en estudios con monos obtuvo unos resultados según los cuales una pequeña región de la *corteza prefrontal* desempeña un papel en el almacenamiento de recuerdos durante un corto plazo. En un experimento, se enseñó a los monos dos objetos idénticos, uno en la derecha y otro en la izquierda. Encima de uno de ellos había una manzana que el mono podía comerse. Después de que el animal se comiera la manzana, se ocultaban ambos objetos durante sesenta segundos antes de mostrarlos de nuevo. Entonces el mono cogía el objeto previamente relacionado con la comida al recordar su ubicación.

Durante estos sesenta segundos, las neuronas de la corteza prefrontal estaban muy activas. No lo estaban antes, cuando se presentaron los objetos, ni después, cuando el mono hizo su elección. En la década de 1980, Patricia Goldman-Rakic, de la Universidad de Yale, amplió este estudio. Sus experimentos pusieron de relieve que ciertos grupos de células prefrontales estaban dedicados a tareas específicas de memoria, y que mediante el registro de la actividad de una neurona prefrontal concreta era posible predecir la siguiente acción que el mono iba a realizar.

Como vimos en el capítulo 8, la corteza prefrontal sigue desarrollándose durante toda la infancia y hasta entrada la adolescencia. Así, los bebés exhiben una capacidad básica para la memoria de trabajo y a corto plazo, pero esta capacidad continúa perfeccionándose a lo largo de la infancia. El desarrollo de la corteza prefrontal y la mejora de resultados en los test de memoria van de la mano. Es probable que algunas tareas aparentemente insignificantes para los adultos resulten realmente difíciles para los niños.

A menudo hay que llevar a cabo más de una tarea al mismo tiempo, hecho que plantea exigencias a la memoria de trabajo, la cual normalmente requiere intercambio de informaciones adecuadas para una tarea u otra. Incluso cuando simplemente comparamos números de dos columnas que se hallan en un orden distinto necesitamos este tipo de memoria: hemos de recordar el lugar de la columna uno para volver a él una vez hayamos resuelto el lugar de la información en la columna dos. Los individuos con lesión en el lóbulo frontal suelen estar desproporcionadamente dañados en lo referente a hacer dos cosas de manera simultánea, lo que sugiere que el lóbulo frontal tiene un papel en estos aspectos de la memoria de trabajo.

En un estudio reciente con neuroimágenes, realizado por Susan Courtney y sus colegas de la Johns Hopkins University de Baltimore, se comparó la actividad cerebral cuando los participantes ejecutaban dos tareas simultáneamente con la actividad cerebral cuando cada tarea se hacía por separado. Este experimento confirmó que la corteza prefrontal desempeña un papel crucial a la hora de hacer dos cosas a la vez.

FIGURA 10.4. *La memoria prospectiva, que conlleva realizar una tarea mientras se tiene presente la intención de hacer algo más en el futuro, activa la corteza frontopolar.*

Ninguna de las dos tareas, una de rotación espacial y otra de apreciación semántica, producía una activación significativa de la corteza prefrontal cuando se llevaba a cabo sola; se advertía activación en esta área únicamente cuando ambas tareas se combinaban. Dado que los lóbulos frontales son estructuras cerebrales de maduración tardía (véase capítulo 8), acaso durante la enseñanza fuera posible ajustar exigencias en función de la madurez neurológica durante el desarrollo. Si el pequeño Jack parece ser muy olvidadizo, quizá no sea por una incapacidad de recordar hechos o sucesos; quizá le resulte difícil tener presente simultáneamente las instrucciones para realizar varias tareas a la vez.

RECUERDOS DEL FUTURO

Aunque no estemos haciendo realmente dos cosas al mismo tiempo, con frecuencia hemos de recordar que tenemos que hacer algo en el futuro mientras nos encontramos ocupados en un cometido totalmente distinto. Imaginemos que estamos en mitad de una conversación con alguien y suena una alarma interna: antes habíamos puesto inconscientemente este despertador para acordarnos de efectuar una llamada telefónica. De modo que hemos de interrumpir la conversación un rato aunque para volver a ella tras la llamada. O podríamos estar haciendo la comida procurando todo el tiempo no olvidarnos de sacar la basura en el espacio de los próximos treinta minutos, de lo contrario ya habrá pasado el camión. Acordarnos de hacer algo en el futuro mientras estamos realizando otra actividad corresponde a la que se conoce como *memoria prospectiva*. La utilizamos continuamente, y algunos científicos, entre ellos Paul Burgess y Tim Shallice, de la Universidad de Londres, han sostenido que esta capacidad es exclusiva de los seres humanos.

En ciertos experimentos sobre la memoria prospectiva, Paul Burgess y sus colegas han observado que tener presente la intención de hacer algo en el futuro entorpece la tarea que se tiene entre manos. En un experimento, se enseñó a los voluntarios dos números a uno y otro lado de una pantalla. Imaginemos que tomamos parte en el experimento. Se nos pide que pulsemos una de dos teclas en un teclado: la de la izquier-

da (A) si el número de la izquierda es mayor, y la de la derecha (L) si el mayor es el de la derecha. En algunos ensayos, se nos dice que sigamos con la tarea, pero además que determinemos si los dos números son iguales, en cuyo caso debermos pulsar una tecla diferente (la barra espaciadora). Aunque es fácil recordar esta instrucción y hacer la tarea, en esta clase de pruebas los participantes son más lentos, incluso cuando no aparecen nunca dos números iguales.

¿Qué pasa en el cerebro con este tipo de tareas? Ciertas lesiones de los lóbulos frontales dañan gravemente el desempeño de la memoria prospectiva. Los individuos con lesiones frontales simplemente no se acuerdan de realizar la segunda tarea en el momento adecuado. Experimentos de neuroimágenes han revelado que una parte específica de los lóbulos frontales denominada *corteza frontopolar* —en la zona delantera del cerebro, inmediatamente detrás de la frente— está activada cuando ponemos el despertador interno para acordarnos de hacer algo mientras estamos absortos en una tarea. Esta parte del cerebro parece ser clave para recordar que hemos de hacer algo en el futuro.

Recuerdos de sucesos

Hay otra clase de memoria que implica a la *corteza frontal* y al hipocampo. Recibe el nombre de *memoria episódica*, una de las cosas que pierden los enfermos de Alzheimer. Clive, al que hemos descrito antes, es un caso extremo. Las memorias episódicas son recuerdos de sucesos acontecidos con nosotros como actores o testigos principales en un lugar y un tiempo específicos.

El hipocampo comienza a madurar a partir de las últimas etapas de la primera infancia. Aunque los bebés y los niños pequeños están continuamente adquiriendo información y formando memorias nuevas, parecen hacerlo de manera implícita, esto es, sin que en su mente quede constancia de cuándo y cómo han adquirido la información. Aunque ya hablen, los niños pequeños no saben decirnos mucho cuando les preguntamos sobre un suceso. Este fenómeno se conoce como *amnesia infantil*. Los niños de tres años parecen incapaces de recordar cómo han aprendido

algo incluso cuando los hechos han tenido lugar sólo momentos antes. A partir de los tres años, los niños recuerdan cada vez mejor acontecimientos y episodios específicos, y también cómo y cuándo se produjeron.

Al principio cabe pensar que recordaremos algo si hemos participado o sido testigos de ello. Los recuerdos de sucesos que hemos presenciado, o en los que hemos tomado parte, constituyen un componente importante de nuestra vida, y aun así, como todos sabemos, estos recuerdos son inestables y pueden perderse. Las personas mayores suelen olvidar que nos acaban de decir que han ido al médico, por ejemplo, y efectivamente nos lo repiten una y otra vez. Tampoco se acuerdan de dónde han dejado las gafas. Podemos imaginar un archivero mental que continuamente lleva la cuenta de lo que decimos, hacemos u observamos con interés. Normalmente este registro impide que nos repitamos o que olvidemos algún episodio personalmente importante, pero en edades avanzadas flojea. Desde luego, los problemas de memoria en la vejez son muy variados, y no todas las personas los sufren en la misma medida. De todos modos, parece que el sistema cerebral involucrado en la memoria episódica no es sólo bastante lento en su desarrollo en las primeras etapas de la vida, sino también el primero en debilitarse.

Las memorias episódicas (p. ej., lo que hemos desayunado esta mañana) se almacenan en áreas cerebrales distintas de las utilizadas para las memorias semánticas (p. ej., quién es el actual presidente de los EE.UU. o qué toma normalmente la gente para desayunar). Las personas que sufren amnesia profunda no recuerdan episodios que experimentaron personalmente —incluso lo que estaban haciendo sólo cinco minutos antes—, pero, como en el caso de Clive, son capaces de conservar sus conocimientos semánticos y todavía hablan. Hasta cierto punto es posible compensar una escasa memoria episódica mediante el uso, en su lugar, de una memoria de carácter factual. Así, podemos enumerar lo que hemos desayunado a modo de lista de la compra, y después recitarlo si nos preguntan. Aunque el cerebro diferencia los distintos tipos de memoria, lo que realmente recordamos puede muy bien ser una mezcla que se vale de diferentes sistemas de memoria. Nuestra mente consciente no es consciente del complejo funcionamiento de los sistemas neurales que preservan estos recuerdos.

Trastornos de memoria en la infancia

Los trastornos del desarrollo tienen a menudo origen genético, pero también hay otras causas, por ejemplo, lesiones cerebrales a una edad muy temprana. Puede que en su momento estas lesiones ni siquiera se notaran. Un ejemplo de ello es el trastorno de desarrollo de la memoria, que no se ha reconocido hasta hace poco. Faraneh Varga-Khadem, de la Universidad de Londres, observó que algunos bebés nacidos prematuros y que, por diversas razones, en el nacimiento recibieron una dosis excesiva de oxígeno, sufrieron lesiones en el hipocampo, el cual en estos casos es sensiblemente más pequeño. Tal como hemos señalado, el hipocampo tiene una importancia decisiva para recordar qué pasó y cuándo, quién dijo qué, etcétera.

Varga-Khadem y sus colegas advirtieron que, en muchos aspectos, los niños con lesión hipocampal no lo evidenciaban. Iban bien en la escuela y parecían obtener buenos resultados en los test de CI. No obstante, si se les preguntaba qué habían hecho el día anterior, no sabían qué decir. De todos modos, sabían responder preguntas del tipo «¿cuál es la capital de Turquía?» o «¿dónde vives?». Este tipo de memoria semántica tiene una base cerebral distinta, seguramente en la *corteza entorrinal* y los *lóbulos temporales*, que permanecían intactos.

La lesión hipocampal era leve pero tenía efectos profundos en los niños a medida que crecían y trataban de adaptarse. Estos eran incapaces de recordar citas o tareas, y no tenían un recuerdo continuo normal de lo que les había sucedido en el pasado. Recordaban acontecimientos, pero no cuándo y cómo los habían asimilado. Aun así, era posible la compensación en cierto grado. Ya hemos aludido al hecho de que podemos convertir recuerdos tratados normalmente como episodios en hechos adquiridos como cualquier otro conocimiento. De este modo, si nos preguntan podemos recitar lo que hemos tomado para desayunar, aunque no recordemos haber desayunado.

Para un maestro tal vez sea importante saber que aprender hechos, como ecuaciones matemáticas o fechas históricas, depende de regiones cerebrales distintas de las encargadas de recordar episodios en los que estuvimos implicados de manera

personal. Los niños no son forzosamente hábiles por igual en todas estas funciones, lo cual quizá no se deba a que estén menos interesados en unas destrezas que en otras.

Fundamento cerebral de la enseñanza

Sabemos algo de lo que ocurre en el cerebro cuando aprendemos, pero casi nada de lo que pasa cuando enseñamos. Creemos que, en el futuro, la neurociencia acabará aclarando la naturaleza de la enseñanza. Esta es una de las capacidades más específicas de la especie que podemos enumerar para los seres humanos, si bien en otras especies pueden existir ciertas formas rudimentarias de enseñanza implícita. Como mínimo, enseñar significa procurar a las personas las oportunidades adecuadas y animar a aquéllas a aprovecharlas. Tenemos una analogía en la mamá pata que lleva a sus patitos al agua: en cuanto se sumerge, los pequeños la siguen. Las enseñanzas que proporciona una madre humana van mucho más lejos. Tiene que enseñar al niño toda clase de cosas complejas, por ejemplo, a saludar a los desconocidos o lavarse las manos. Las enseñanzas que brinda un maestro profesional van más lejos incluso. A lo largo de la vida aprendemos cosas que en un principio eran invenciones únicas y el trabajo acumulado de muchas generaciones. Así pues, los sistemas numéricos y de escritura, los mapas de navegación, la astronomía, las leyes, etcétera, se transmiten mediante enseñanza explícita y docentes especialistas.

Hemos de volver sobre la *teoría de la mente*, o *mentalización*, que vimos en el capítulo 7. La *mentalización* tiene una base cerebral definida, y podemos considerarla, al menos hasta cierto punto, un módulo innato. Es una de las capacidades cognitivas que abunda en los seres humanos y parece ser crucial para nuestras comunicaciones e interacciones sociales. También parece ser una condición *sine qua non* cuando la enseñanza tiene un propósito. Para ser efectivo, como mínimo el maestro ha de calcular aproximadamente el estado apropiado de conocimientos del alumno: tiene que hacer algunas suposiciones sobre lo que el estudiante ya sabe o sobre lo que necesita que le expliquen para incrementar su nivel de comprensión. El maestro también debe evaluar el

grado de interés que el alumno pone en la tarea, así como su receptividad a la enseñanza.

La enseñanza satisfactoria se basa en muchas de las mismas destrezas de que se compone la comunicación corriente en dos direcciones. No deseamos aburrir a las otras personas. Tampoco podemos siempre dar por sentado que los demás tienen conocimientos sobre aquello de lo que estamos hablando; de modo que hemos de calibrar lo que ya saben acerca del asunto. Queremos que las otras personas nos escuchen con atención, y necesitamos avisarles de que tenemos algo nuevo y provechoso que enseñarles.

Quizá uno sea muy ambicioso y al hablar en público pretenda cambiar las actitudes y creencias de los demás. Para ello se precisan habilidades retóricas, que se han estudiado con todo detalle desde la antigüedad. En ellas se incluyen numerosas estratagemas ingeniosas, como la exageración, la repetición o la ironía. Todo esto depende del ajuste de nuestra capacidad para interpretar la mente de los demás. Hemos de conocer las actitudes y creencias de los otros. El éxito dependerá de nuestro dominio de ciertas técnicas de persuasión, como la adulación, la promesa de recompensas o las amenazas. La tarea del maestro acaso no sea muy distinta. Ambos cometidos se basan en nuestra capacidad para atribuir sentimientos y opiniones a los demás, amén de manipularlos con el fin de lograr el resultado deseado. Los docentes y los alumnos tienen papeles recíprocos y se ayudan mutuamente. Estudiar esto observando a dos individuos en dos escáneres simultáneamente supone un desafío metodológico que se está abordando en la actualidad.

La capacidad para aprender es inmensamente más antigua y automática que la capacidad para enseñar. Todos los animales aprenden, muy pocos enseñan. Puede ser que a la enseñanza aún le quede un largo camino hasta llegar a su potencial óptimo. En el futuro, debería ser posible crear programas sistemáticos de investigación que revelaran, en términos de actividad cerebral, las complejas interacciones que seguramente surgen entre factores como el estilo de enseñar y el tipo de aprendizaje.

Capítulo 11

DIFERENTES FORMAS DE APRENDIZAJE

Memoria sin significado

Una de las maneras más simples y conocidas de aprender es *de memoria* (es decir, repitiendo palabras u otros ítems una y otra vez). Podemos hacer esto si estamos familiarizados con la estructura sonora de una lengua y su gramática, aun cuando no sepamos mucho sobre el significado de las palabras que enumeramos. El aprendizaje de memoria se ha utilizado en entornos educativos de todas las épocas y culturas. El aprendizaje de los patrones de los sonidos es un modo de almacenar información; y fue el principal medio de transmisión de canciones, poemas y otras creaciones literarias antes de que existiera la escritura.

En la India, por ejemplo, los *Vedas*, los antiguos textos sagrados del hinduismo compuestos alrededor de 1500 a.C., se transmitieron oralmente de una generación a otra durante siglos. Los sacerdotes se sabían los textos sagrados de memoria y estaban preparados para recitarlos textualmente, aunque ni ellos mismos entendieran el significado de las palabras en sánscrito. Algunos eruditos incluso pensaban que era mejor no conocer el significado del texto: en las ceremonias religiosas la cuestión fundamental era recitarlo, y el significado sólo entorpecería el recitado correcto.

Por lo visto, la memorización experimenta cambios con la edad. Cuanto mayor se hace uno, más difícil es por lo visto aprender de memoria. Por otro lado, los individuos de edad avanzada a menudo pueden recitar poemas o canciones infantiles que aprendieron de niños, pese a no haber practicado

nada durante su vida adulta. En casos de lesiones cerebrales podemos hallar llamativos ejemplos de distinciones entre destrezas memorizadas en etapas tempranas y de otras clases. Una mujer que aprendió galés como primera lengua y luego se trasladó a Londres, donde sólo hablaba inglés, sufrió una apoplejía. A consecuencia de ello, perdió la capacidad de hablar inglés, pero podía recitar todos los cánticos que había aprendido en galés.

Otra mujer que conocemos sufrió una apoplejía que le afectó gravemente a la memoria. No recordaba quién era, qué año era, ni nada de su vida acaecido aproximadamente en la década anterior. Sin embargo, era capaz de recitar perfectamente su receta preferida, aprendida sesenta años antes, y su poema infantil favorito.

¿Cómo funciona la memorización? ¿Tiene su propia base cerebral? Recientemente, en estudios con neuroimágenes se ha investigado cómo la repetición de palabras afecta a la actividad cerebral. Y se ha obtenido sistemáticamente el resultado de que la *corteza premotora* y la *corteza frontal inferior* del hemisferio izquierdo están implicadas en la repetición de ítems a recordar, lo cual es válido si se hace tanto en voz alta como en silencio. Ahora bien, se sabe que estas áreas cerebrales tienen que ver con la producción del habla. La repetición conlleva el uso de códigos articulatorios (internamente o en voz alta) del material a recordar, lo que quizá podría explicar por qué están activadas las áreas cerebrales que controlan la producción del habla.

Significado y memoria a corto plazo

El lector debe mirar esta lista de letras e intentar aprenderlas repitiéndolas durante un minuto, y luego taparlas y tratar de recordarlas y ver hasta dónde llega:

D N D Y S H I W W Y A U A T W S H L A D I T S

¿Cuántas letras recuerda? Ahora le decimos que son las letras iniciales de «Duérmete niño, duérmete ya», ¿qué tal? Eche otro vistazo, tape las letras e intente recordar. Seguramente esta vez llegará más lejos. ¿Por qué? Está disfrutando de una

ayuda extra porque el aprendizaje de material significativo recurre a un área cerebral adicional: la *corteza prefrontal inferior* izquierda.

Es mucho más fácil aprender la información si le damos sentido. La memoria a corto plazo sólo es buena para la repetición inmediata. También es bastante limitada —puede manejar sólo unos siete ítems de información a la vez y dura únicamente entre 15 y 20 segundos—. Por contraste, la información significativa se almacena automáticamente y es posible recordarla mucho más tiempo. Ciertos «atletas» de la memoria pueden prepararse para dotar de sentido incluso a series de números aleatorios y recordar secuencias numéricas larguísimas.

¿De memoria o no?

El papel de la memorización en la educación ha sido polémico durante mucho tiempo. ¿Es posible que aprender de memoria dificulte realmente el acceso al significado? La capacidad para recitar un poema, ¿reduce la capacidad para reflexionar sobre su contenido? El énfasis en cantar una canción sin fallos, ¿impide al intérprete centrarse en su significado? Este tipo de preguntas pueden ser respondidas por las ciencias cerebrales, pero aún hay que llevar a cabo los estudios pertinentes.

Se ha sugerido que aprender de memoria ahoga la creatividad y reduce la individualidad. Además, la memorización resulta fácil para ciertas personas, por ejemplo, muchos autistas, pero muy difícil para otras, por ejemplo, los disléxicos. No tiene sentido obligar a las personas a aprender de memoria material que preferirían aprender de otra manera. Por otro lado, sería absurdo no dar a la gente la oportunidad de utilizar su capacidad para aprender de memoria. La memorización es muy eficaz cuando aprendemos vocabulario de un idioma extranjero, la tabla periódica, el papel en una obra dramática o un discurso. Jamás se ha oído decir que aprender información de memoria afecte a la creatividad de escritores o compositores.

Quizá debido a las evidentes disparidades individuales que existen, los educadores están divididos con respecto al uso de la memorización. A diferencia de los maestros de los

antiguos Vedas, les preocupa también que se aprenda algo de memoria sin comprender su significado. Cuando se enseña a los niños a leer, por ejemplo, tal vez se pone tanto énfasis en la pronunciación de las palabras que al final se pierde el significado del mensaje. Curiosamente, las áreas cerebrales implicadas cuando se atiende al *significado* de las palabras son diferentes de las implicadas cuando se presta atención al *sonido*.

Antes de aprender a leer, a los niños pequeños les cuesta atender al sonido más que al significado. Es probable que el significado sea dominante para todos, por lo que se requiere cierto esfuerzo para zafarnos del mismo y prestar atención exclusivamente a características formales del lenguaje, como la gramática o el sonido. Aquí la excepción podrían ser los individuos con trastornos autistas, que normalmente están menos entusiasmados por el significado del mensaje que por su forma. Esto se observó en el caso estudiado en las décadas de 1960 y 1970 por Beate Hermelin y Neil O'Connor, de la Universidad de Londres. Hasta ahora nadie ha investigado qué distintos patrones cerebrales están activos en las personas autistas, en comparación con otras personas, cuando recuerdan palabras.

Aprender de memoria es una cosa, y otra muy distinta integrar fragmentos de información. Si estos son dispares, como acaso suceda en la memorización, la recuperación es difícil. Aprender de memoria es a todas luces útil para asimilar términos técnicos nuevos. Pero, ¿qué hay de recordar la palabra correcta en el momento adecuado? El aprendizaje efectivo es algo más que atiborrar la cabeza de información. También debemos desarrollar nuestra capacidad para recuperar la información que es provechosa en una situación específica. El almacenamiento de información es abundante y barato, pero el acceso y la recuperación a menudo son difíciles. A juicio de muchos educadores, lo que los estudiantes necesitan son herramientas para acceder a la información almacenada.

Uso de la imaginación para aprender

Las ciencias cerebrales están proporcionando nuevos datos para métodos de aprendizaje que van más allá de la

FIGURA 11.1. *Es más fácil recordar trozos dispares de información si los imaginamos interaccionando, cuanto más absurdamente mejor.*

simple memorización. Las *imágenes visuales* suponen «ver con la imaginación». ¿Cuántos cuadros hay colgados en su salón? Para responder a esta pregunta la mayoría de las personas cierran los ojos y visualizan la habitación dentro de su cabeza, exploran esta imagen mental y cuentan los cuadros. Las imágenes visuales, o *visualización*, son eficaces —la verdad es que la mayoría de los individuos son capaces de controlar su imaginación y utilizarla para echar un vistazo a los rincones de su salón.

A finales de la década de 1960, el psicólogo canadiense Alan Pavio puso de manifiesto que las palabras *concretas* (como «bosque» o «copa») son más fáciles de recordar que las *abstractas* (como «lejos» o «agradable»). Esto se atribuía al hecho de que las palabras concretas son más imaginables que las abstractas. Se sugirió que se podían usar imágenes visuales para potenciar el aprendizaje. Aprender una lista de palabras es efectivamente más fácil si las visualizamos. Como veremos, es incluso más fácil si imaginamos los objetos combinados o interaccionando unos con otros («una copa en un bosque») que si intentamos aprender las palabras de manera aislada.

Las imágenes visuales se utilizan con frecuencia como herramienta de ayuda al aprendizaje en personas cuya memoria está deteriorada. Se han desarrollado técnicas de aprendi-

zaje para individuos con amnesia crónica a quienes se enseña a conectar ítems mediante historias «de imágenes ridículas». Por ejemplo, si quieren ir a comprar leche, un racimo de plátanos y un periódico, pueden imaginarse un cartón de leche remando con dos plátanos sobre un periódico (véase figura 11.1). Al parecer, esto ayuda a recordar las palabras.

Las imágenes visuales para mejorar la memoria se han utilizado desde hace mucho tiempo, remontándose al «Arte de la Memoria», que fue inventado en la antigüedad y se practicó mucho en la Edad Media. En el uso clásico del Arte de la Memoria, las imágenes mentales se empleaban para recordar discursos largos y complicados. Se asociaban imágenes mentales abstractas un tanto estrambóticas (y, por tanto, más memorables) a partes del discurso y a características arquitectónicas de la estancia en la que se iba a pronunciar. Llegado el momento de hablar, el orador estudiaba la sala, de tal modo que los diversos detalles —estatuas, frescos, columnas, etcétera— accionarían todos los componentes de la alocución a medida que él los recorriera con la mirada. La estancia procuraría un marco de referencia que podría usarse una y otra vez en discursos diferentes.

FIGURA 11.2. *Las regiones cerebrales activadas por expertos en memoria incluyen el hipocampo y están implicadas en la memoria en todos los casos.*

Los «atletas de la memoria» de la época actual se valen de la misma técnica. Estos individuos fueron examinados recientemente en un estudio de imágenes cerebrales realizado por Eleanor Macguire, de la Universidad de Londres. La investigadora efectuó escáneres a personas que participaban en los Juegos Olímpicos de la Memoria. Estas personas, famosas por sus asombrosas destrezas memorísticas, no eran más inteligentes que las personas con memoria «normal» ni mostraban ninguna diferencia palpable en su estructura cerebral, sino que parecían haber enseñado a determinadas partes de su cerebro a almacenar y recuperar información. Todas utilizaban las imágenes mentales, como en el Arte de la Memoria. Las regiones cerebrales activadas incluían el hipocampo y estaban implicadas en la memoria en todos los casos. Si se trataba de recordar listas de números, caras y formas complejas parecidas a copos de nieve, los individuos con esta memoria superior activaban las partes cerebrales de la memoria más que las personas con memoria normal. Así, la memoria a corto plazo parece ser mucho más susceptible de entrenamiento.

FIGURA 11.3. *Buena parte del sistema visual del cerebro, mostrado en la figura, es activado por imágenes visuales.*

Los individuos con lesiones en la parte posterior del cerebro, donde está la corteza visual, a menudo presentan problemas de memoria visual y no sacan provecho de las imágenes visuales cuando intentan memorizar palabras. Esto sugiere que para formar imágenes visuales son necesarias las regiones visuales del cerebro (*corteza temporo-occipital*). El estudio realizado en pacientes con lesiones cerebrales ha revelado la existencia en el cerebro de sistemas verbales y no verbales separados. Algunos pacientes cuyas áreas cerebrales visuales están intactas, pero que han sufrido daño en las áreas lingüísticas, no tienen dificultad alguna para identificar un objeto a partir de la imagen aunque sí les cuesta mucho identificarlo partiendo sólo de su nombre. Este tipo de pacientes aún tienen acceso al sistema no verbal (imágenes visuales), pero les cuesta acceder al sistema verbal de identidad. En la mayoría de las personas, estos dos sistemas no funcionan por separado, sino que interaccionan continuamente para posibilitar destrezas como el reconocimiento de objetos y la memoria basada en las imágenes.

Las imágenes cerebrales han procurado abundantes ideas sobre el fundamento cerebral de la memoria y el aprendizaje basados en imágenes. En estudios de neuroimágenes llevados a cabo por Steve Kosslyn y su equipo de investigadores de Harvard se ha observado que están activadas al menos dos terceras partes de las mismas áreas cerebrales cuando imaginamos un objeto y cuando lo vemos realmente. Así pues, puede que las imágenes mentales de objetos y sucesos requieran buena parte del mismo procesamiento que se produce durante la correspondiente experiencia de percepción.

Pero, ¿cómo explicamos el resultado de que la palabra concreta «copa» sea más fácil de recordar que la palabra abstracta «lejos»? Ciertos estudios de neuroimágenes han revelado diferencias en los sistemas neurales que subyacen al recuerdo de material de distintos grados de imaginabilidad. En general, se produce una mayor implicación de las áreas visuales cerebrales en el aprendizaje —basado en imágenes— de palabras concretas que en el de palabras abstractas. Además, una estructura cerebral situada en niveles profundos, denominada *circunvolución parahipocampal*, tiene que ver con la formación y el almacenamiento de recuerdos de palabras (concretas) imaginables.

Una región cerebral distinta que aparece involucrada cuando *recuperamos* de la memoria palabras imaginables, pero no no-imaginables, es la *corteza parietal*. El *lóbulo parietal* está implicado en el procesamiento de relaciones espaciales entre objetos y en la comprensión de los números y el aprendizaje de la música, y tiene asimismo conexiones con el resto de la corteza visual. Estas conexiones facilitarían su acceso a almacenes de memoria visual. Diferentes estructras cerebrales participan en la codificación de palabras abstractas, las cuales no son fáciles de imaginar. Las áreas lingüísticas del *lóbulo temporal* entran en juego cuando memorizan palabras abstractas, lo que es lógico teniendo en cuenta que estas palabras sólo se pueden aprender mediante un código verbal —no es fácil visualizarlas.

Las parejas de palabras relacionadas por el significado (como «árbol» y «tronco») son más fáciles de recordar que las que no están relacionadas («manzana» y «farola»). Ciertos estudios de neuroimágenes han puesto de manifiesto que cuando hay que recordar parejas de palabras no relacionadas, están implicadas las áreas cerebrales *prefrontales*. Estas áreas prefrontales desempeñan un importante papel en la toma de decisiones y en la inventiva, razón por la cual acaso se vuelven activas cuando los individuos hacen un esfuerzo por conectar semánticamente palabras no relacionadas. Por tanto, se requiere actividad prefrontal adicional cuando las personas han de buscar y establecer nuevos nexos significativos entre parejas de palabras que no guardan relación. Esto es útil cuando se trata de recordar las parejas de palabras.

Si la cuestión es recordar una palabra a partir de su significado, el sonido tiene una función importante. Todos estamos familiarizados con el frustrante fenómeno de tener algo en la *punta de la lengua*, cuando sabemos el significado pero no recordamos el nombre de algo o alguien. En este caso, a menudo tenemos la sensación de identificar el sonido de la palabra, saber cuántas sílabas tiene o con qué letra empieza. La *corteza prefrontal izquierda*, que por lo visto está implicada en la recuperación de información de la memoria, se

activa cuando los individuos recuperan palabras correctamente. No obstante, si tenemos una palabra en la «punta de la lengua», esta región no está activada, haciéndolo en su lugar muchas otras áreas cerebrales, lo que quizá refleje el gran esfuerzo por recordar la palabra.

Asociación de imágenes y sonidos

Hasta ahora hemos hablado sobre aprender y recordar *palabras*. ¿Y qué hay de recordar cosas que no tienen nombre? En el capítulo 9 mencionamos el estudio de Désirée Gonzalo y Ray Dolan, de la Universidad de Londres, en el que se hicieron escáneres a un grupo de voluntarios después de que hubieran aprendido parejas totalmente arbitarias de sonidos y símbolos visuales. Por ejemplo, debían aprender que el color púrpura siempre iba acompañado de un graznido. Los resultados mostraban que, curiosamente, las áreas visuales del cerebro comenzaban a responder al sonido cuando los voluntarios habían aprendido que un sonido predecía un color específico. Igual de notable era el hallazgo de que la corteza auditiva, especializada en procesar sonidos, exhibía respuestas a un estímulo visual cuando éste predecía un sonido.

Estos resultados subrayan la posibilidad de que regiones cerebrales específicas, que tradicionalmente se ha creído que responden sólo a información de una modalidad sensorial, respondan también a estímulos de otras modalidades. Además estas respuestas adaptativas pueden inducirse con gran rapidez. Los participantes en el experimento habían estado aprendiendo las parejas color-sonido durante apenas unos minutos antes de que les hicieran escáneres cerebrales. Estamos ante un ejemplo de *plasticidad* en el cerebro adulto. Hay muchos otros ejemplos de plasticidad en el cerebro, tal como describimos en el capítulo 9. La corteza auditiva de los individuos sordos que saben leer los labios empieza a responder a movimientos de la boca. En los ciegos, la corteza visual responde al tacto del Braille. Estas conclusiones ponen de relieve la capacidad del cerebro, incluso en la edad adulta, para modificar su función con arreglo al uso.

Imágenes emocionales y aprendizaje

Si el lector es impresionable, mejor que se salte la siguiente frase. Imaginemos que conducimos por una carretera y de pronto reparamos en un niño tirado en el suelo, a un lado de la calzada, retorcido en un charco de sangre. En los seres humanos, imaginar una escena así origina diversos cambios fisiológicos, entre ellos alteraciones de los ritmos cardíaco y respiratorio. De hecho, imaginar una situación emocionalmente aversiva puede afectar al cuerpo casi tanto como experimentarla en la realidad. Esto demuestra que las imágenes visuales afectan al cuerpo. Steve Kosslin y sus colegas han observado que imaginar escenas aversivas activa ciertas áreas cerebrales más que imaginar estímulos neutros (figurémonos que conducimos por una carretera y vemos a lo largo del arcén una franja de hierba salpicada de flores silvestres). Entre las áreas activadas se halla la *ínsula anterior*, que está implicada en registrar el estado de la actividad *autónoma* (ritmo cardíaco, ritmo respiratorio, etcétera) del cuerpo y en producir sensaciones viscerales o instintivas. Visualizar sucesos aversivos no sólo afecta al cuerpo; estos episodios imaginados también son procesados por el cerebro emocional.

El hallazgo de que las personas pueden influir en el estado emocional de su cuerpo mediante la formación de imágenes visuales tiene repercusiones en el aprendizaje. Se ha afirmado que estos procedimientos de formación de imágenes pueden afectar a muchísimas funciones corporales, incluyendo los sistemas hormonal e inmunitario. Imaginemos que nuestro equipo favorito gana un partido, debido a lo cual se elevan los niveles corporales de testosterona. El incremento en los niveles de testosterona ayuda a la navegación espacial. Así pues, quizá sería posible mejorar indirectamente la navegación espacial mediante el uso de las imágenes.

El estrés es otro ejemplo de algo que se podría controlar por medio de imágenes visuales. Se sabe que el estrés afecta al aprendizaje y a la productividad. El aprendizaje óptimo se produce bajo cierto nivel de estrés, pero si éste es excesivo perjudica al aprendizaje (véase figura 11.4). Se puede utilizar la formación de imágenes emocionales para modular los niveles de estrés. Mediante las imágenes visuales para controlar el estrés, tal vez seamos capaces de mejorar nuestro aprendizaje.

No obstante, las personas difieren espectacularmente en cuanto a sus capacidades para usar imágenes visuales. Algunas afirman no ser capaces de formar imágenes visuales en absoluto. Las personas también difieren en su capacidad respecto a aspectos individuales de la formación de imágenes. Algunas pueden imaginar fácilmente que recorren con la vista su escritorio o los detalles del rostro de su madre, pero a lo mejor les resulta imposible figurarse un objeto que gira. Podemos intentarlo. Pensemos en un sillón. Imaginemos que lo rodeamos. Ahora imaginemos que nos quedamos quietos y que el sillón gira sobre su eje. Hay personas que pueden hacer ambas cosas, pero para otras es mucho más difícil una que otra, lo que pone de manifiesto que la formación de imágenes visuales no está forzosamente relacionada con la rotación mental.

Imitación

La *imitación* —observar cómo los demás hacen cosas y luego intentar hacer lo mismo— es una arraigada estrategia de aprendizaje. Hay ejemplos de animales, incluyendo aves, que adquieren unos de otros información aprendida. Se ha publi-

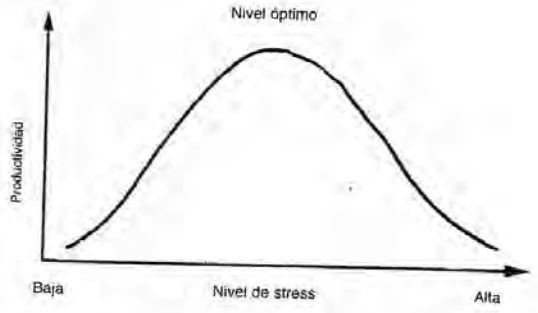


FIGURA 11.4. *Un poco de estrés es bueno para el rendimiento. Demasiado poco se traduce en complacencia; demasiado, en ansiedad no canalizada.*

cado que ciertos monos salvajes copian de sus congéneres el modo de andar y subir a los árboles. Existen numerosos informes de chimpancés en cautividad que observan a personas utilizar herramientas como martillos y destornilladores y luego las imitan. En inglés, la palabra *ape* (simio) incluso ha llegado a tener el significado de «imitar».

Poco después de nacer, los bebés humanos ya pueden imitar algunos de los gestos comunicativos de quienes los rodean. Esto lo descubrió hace unos treinta años el psicólogo del desarrollo Andrew Meltzoff, de la Universidad de Washington, Seattle. Si conocemos a un bebé recién nacido, podemos llevar a cabo un experimento sorprendente. Miramos al bebé, atraemos su interés y sacamos la lengua. Con apenas unos días de vida, los bebés humanos a menudo imitan expresiones faciales, como sacar la lengua o abrir la boca. Hacia las diez semanas, empiezan a imitar las expresiones faciales mostrando emociones básicas, como felicidad (sonriendo) o enfado (frunciendo el ceño).

A diferencia de esta automática imitación temprana, las imitaciones que aparecen más adelante no se limitan a reflejar lo visto alrededor sino que son muy selectivas. Un ejemplo de selección es el efecto de los iguales o compañeros. En el aprendizaje del lenguaje, este efecto es muy fuerte. Los niños suelen adoptar el acento de sus compañeros antes que el de sus padres. Curiosamente, no imitan el acento extranjero de su madre, aunque para ellos ésta sea la principal fuente de habla.

El hecho que los bebés estén dotados de mecanismos para imitar tiene una explicación: la imitación es un importante dispositivo de aprendizaje y además vincula nuestra identidad a la de los que nos rodean. Parece que captamos muy fácilmente los sentimientos y las actitudes de las personas que hay alrededor, sin ser conscientes de ello en absoluto. Este tipo de contagio podría incluso proporcionar una base para desarrollar un conocimiento de las demás personas. Ciertos estudios de psicología social sugieren que se producen efectos enormes de los grupos de compañeros y de los modelos de rol, estando los últimos a veces sólo presentes en el cine o la televisión. Los niños de todas las edades —y hasta cierto punto los adultos— tienden a hacer suyos los valores, las actitudes y las conductas de sus compañeros, sea en la vida real, los libros o la televisión.

Los adultos aún imitan de manera natural conductas básicas, como gestos y expresiones faciales, bien que con mucha menos frecuencia que los niños pequeños. La próxima vez que el lector vea una película en la que alguien simplemente dé una buena noticia, quizá repare en que, sin ningún esfuerzo por su parte, se le ha dibujado una sonrisa en el rostro. En las conversaciones, las personas imitan a menudo las posturas y las expresiones faciales de los otros sin sospecha alguna de que lo están haciendo. Esta clase de conducta social podría haber evolucionado para lograr que los individuos que están interaccionando se sientan más alineados entre sí.

Existe otra clase de imitación en la que tratamos de emular deliberadamente las actitudes, los valores y el comportamiento de personas a las que admiramos, o en la que intentamos conscientemente imitar los patrones exactos de movimiento de los instructores deportivos o de baile, por ejemplo. Evidentemente, esta capacidad es importante en la enseñanza.

EL CEREBRO REFLEJA LO QUE VE

En cuanto a los mecanismos cerebrales que subyacen a la imitación, sabemos más cosas de los adultos que de los niños. Ciertos estudios de neuroimágenes han revelado que simplemente observar a alguien moverse activa áreas cerebrales similares a las activadas al producir movimientos uno mismo. Las *regiones motoras* del cerebro se vuelven activas gracias a la mera observación de movimientos aunque el observador permanezca totalmente quieto. Un estudio de neuroimágenes realizado por Jean Decety y sus colegas de Francia puso de manifiesto que la actividad en las regiones motoras cerebrales se incrementa si el observador ve las acciones de alguien con la intención de imitarlas más tarde. Así, cuando dos personas interaccionan una con otra, se activan simultáneamente las mismas estructuras en ambos cerebros. Cuando vemos a alguien que coge una taza de café, nuestro cerebro no se limita a procesar la percepción visual de la mano más la taza, sino que también reproduce la acción. Nuestro cerebro imita las acciones de otras personas aunque nosotros no lo hagamos.

Esto es útil porque simular en el cerebro acciones observadas quizá nos podría facilitar eventualmente la realización de estas acciones. Imaginemos que intentamos aprender a bailar sin poder observar primero a alguien bailando. Por lo general, aprender partiendo de la observación es más fácil que aprender a partir de descripciones verbales, por precisas y detalladas que sean. Esto acaso se deba a que, al observar una acción, el cerebro ya está preparado para imitarla.

NEURONAS ESPECULARES

No sólo el cerebro humano se activa de igual forma cuando realiza acciones y cuando las observa: en los monos se da el mismo fenómeno. Giacomo Rizzolatti, de Parma, Italia, descubrió que ciertas neuronas de la *corteza premotora* (área involucrada en el control del movimiento) del cerebro de un mono «descargan» cuando éste ve a una persona (o a otro mono) coger un objeto, pongamos un cacahuete, aun cuando el propio mono no haga ningún movimiento. Estas células se denominan *neuronas especulares* porque reflejan como un espejo la conducta observada.

Curiosamente, estas neuronas no reaccionan ante la imagen de un cacahuete aislado ni la de una mano sola: lo que interesa a estas células es la visión de una acción dirigida a un objetivo, como una mano agarrando un cacahuete. El mono que contempla la acción no está imitándola, pero quizá sería capaz de aprender algo sobre el objetivo de la misma *representándosela* en el cerebro. Esto es útil porque permite al mono comprender el significado de la acción y responder con rapidez a las acciones de otros animales.

¿QUÉ NOS IMPIDE IMITAR TODO LO QUE VEMOS?

Si reflejar acciones observadas es inherente a nuestro cerebro, ¿qué nos impide imitar todo lo que vemos? Ciertos estudios sobre individuos con lesiones cerebrales arrojan luz sobre este enigma. Los pacientes con la *corteza frontal* dañada exhiben a menudo una repetición excesiva de acciones de otras personas porque ya no son capaces de inhibir su con-

FIGURA 11.5. Las neuronas especulares, que se encuentran en la corteza premotora, están activadas tanto cuando el mono coge un cacahuete como cuando simplemente observa a una persona u otro mono cogerlo.

ducta. Imitan continuamente acciones de otros incluso cuando ello es totalmente inadecuado. Jacques Jean Lhermitte, el neurólogo francés que habló por primera vez sobre estos pacientes, describió a un hombre que hacía todo lo que hacía el médico: beber, peinarse, arrodillarse y rezar. Esto da a entender que la capacidad para inhibir la conducta está controlada por los lóbulos frontales. La imitación es inherente al cerebro, y para que no se produzca es necesaria la *inhibición de los lóbulos frontales*.

Un atributo muy importante del sistema nervioso inmaduro es la falta de control inhibitorio debido a que, en el nacimiento, los lóbulos frontales están poco desarrollados. La dificultad para inhibir la imitación durante la infancia se pone de manifiesto en juegos como «Simón dice», común a muchas culturas, como lo es también la ocasionalmente desafortunada tendencia de los niños a repetir comentarios que han oído a los adultos, por groseros y privados que sean. Es verosímil que esta falta de inhibición al principio de la infancia exista por algún motivo. Si los niños fueran capaces de inhibir sus acciones, igual que los adultos, tenderían a imitar menos, y habida cuenta de que la imitación es útil para aprender, la falta de la misma quizá no sería recomendable. Los mecanismos inhibitorios del cerebro se desarrollan durante toda la

infancia y la adolescencia debido al crecimiento gradual de los lóbulos frontales —tal como vimos en el capítulo 8, los lóbulos frontales no están plenamente desarrollados hasta las primeras etapas de la edad adulta—. No sorprende que las capacidades que requieren inhibición, como determinados protocolos sociales o la toma de decisiones racionales, tiendan a surgir progresivamente al tiempo que se desarrollan los lóbulos frontales.

IMITACIÓN EN EL AULA

Un conocimiento más profundo de la imitación, su papel en el aprendizaje y sus fundamentos cerebrales tal vez nos permitiría entender cómo podemos sacarle partido para conseguir un aprendizaje beneficioso, o controlarla en los casos en que pudiera ser perjudicial.

En primer lugar, una advertencia importante: como sucede con todos los estudios neurocientíficos, es importante hacer hincapié en la diferencia entre las tareas utilizadas para investigar la imitación en el cerebro y el tipo de imitación pertinente a la educación. En la educación, imitar actitudes, mentalidades y emociones puede ser más importante que imitar movimientos sencillos. No obstante, hasta ahora los estudios de neuroimágenes sobre la imitación sólo han incluido la exploración del cerebro de individuos mientras estos imitaban movimientos muy simples, como tamborilear con el dedo o mover un joystick. Hasta el momento, los resultados sólo pueden interpretarse en cuanto a su importancia en el aula.

Estamos predispuestos a imitar a quienes nos rodean. Esto recuerda la opinión de muchos educadores de que no deberíamos sólo dar a conocer *qué* sabemos sino también poner de manifiesto *cómo* lo sabemos. En el proceso de aprendizaje, los valores, las ideas y la actitud del maestro ante el aprendizaje podrían ser tan importantes como el material que se está enseñando. Las personas exhiben sus actitudes y creencias continuamente, a menudo sin pretenderlo. Son estas actitudes y creencias las que los alumnos captan e imitan fácilmente incluso cuando no es esta su intención. Naturalmente no imitamos cualquier cosa, sino con

más probabilidad a aquellos a quienes admiramos. Los niños y los adultos emulan a sus modelos de rol, en especial los líderes de su grupo de iguales.

En los ámbitos educativos acaso sea útil recordar otro tipo de imitación: la *no imitación intencionada*. Las personas con frecuencia actúan a propósito de manera distinta a como lo hacen otras, en especial los jóvenes resueltos a rebelarse contra sus mayores. La imitación no basta en la educación, la cual requiere comprender y conocer la tarea que se está aprendiendo tanto como simplemente ser capaz de llevarla a cabo. Para que la flexibilidad y la originalidad trasciendan la imitación, hace falta creatividad. Por otro lado, la creatividad sin imitación quizá genere muchas ideas nuevas, aunque éstas a menudo suponen una pérdida de tiempo porque acaso no hayan tenido en cuenta lo que ya se sabe y se ha probado y examinado. Con toda evidencia, hay algunas destrezas y capacidades para las cuales la imitación es fundamental. Es casi imposible aprender a bailar, actuar, cantar, practicar un deporte o hablar una nueva lengua sin un modelo de rol a emular. Sin imitación, los seres humanos quizá nunca habrían aprendido a hablar o escribir, no digamos ya a jugar a squash o a bailar el tango. Pero sin creatividad no se habrían concebido nuevos bailes, deportes, canciones o poemas. Si queremos aprender bien, tomar decisiones acertadas y tener inventiva, son necesarias tanto la creatividad como la imitación. Los modelos educacionales suelen combinarlas.

Los solitarios y los excéntricos son tan importantes como los que siguen la moda. Algunos individuos se muestran menos inclinados a imitar y a aprender mediante la imitación. Sospechamos que existen diferencias individuales en este y muchos otros aspectos del aprendizaje, pero ¿hasta qué punto? Los científicos cerebrales apenas se han ocupado de cuestiones como esta. Es comprensible que actualmente los neurocientíficos estén más preocupados por establecer hechos sólidos que sean válidos para el cerebro de casi todas las personas.

Gimnasia mental

Hace tiempo que la psicología experimental ha establecido la importancia del *ejercicio mental* para aprender movimientos y destrezas físicas. Imaginar que hacemos movimientos sin movernos tiene realmente consecuencias perceptibles. En primer lugar, la práctica mental del movimiento puede mejorar verdaderamente la fuerza muscular y la velocidad del movimiento. En un estudio reciente se observó que los individuos que imaginaban la máxima flexión posible de uno de sus bíceps incrementaban la fuerza de dicho músculo en un 13,5 % en apenas unas semanas y conservaban este aumento de fuerza durante varios meses tras interrumpir el ejercicio mental. En segundo lugar, la ejecución prolongada de tareas en la imaginación puede dar origen a importantes cambios fisiológicos. En ciertos estudios se ha puesto de manifiesto que personas que simulaban mentalmente ejercicios de piernas incrementaban sus ritmos cardíaco y respiratorio igual que si efectuaran realmente los movimientos con las piernas.

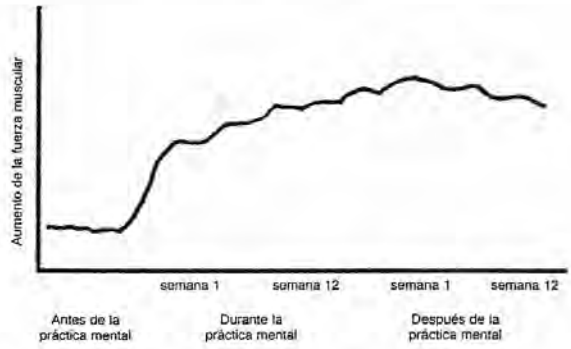


FIGURA 11.6. *El ejercicio mental incrementa por sí solo la fuerza muscular en un 13,5 %.* Fuente: adaptado de figura 2 de Ranganathan et al. *Neuropsychologia* 2004; 42(7): 944-956. Copyright © 2004 de Elsevier Science. Con autorización de los autores y Elsevier Science.

¿Cómo es que se produce mejora durante el ejercicio mental? Una posible explicación es que la formación de imágenes motoras esté estrechamente relacionada con la preparación para el movimiento. Prepararse para el movimiento recurre a los mismos procesos implicados en imaginar que se lleva a cabo dicho movimiento. Estudios de neuroimágenes sobre formación de imágenes motoras realizados por Jean Decety y sus colegas de Francia ponen de relieve la actividad en un subgrupo de regiones cerebrales activadas mientras se efectúan realmente movimientos. Entre estas áreas se incluyen la *corteza motora suplementaria*, la *corteza premotora* y el *lóbulo parietal*.

Quizá el hecho de que se utilicen áreas cerebrales similares para la formación de imágenes de movimientos y para la ejecución real de estos sea la explicación fundamental del fenómeno del aprendizaje motor mediante el ejercicio mental. Ciertas regiones cerebrales necesarias para el aprendizaje motor se activan sólo con pensar en movimientos. Se puede sacar provecho del ejercicio mental para el entrenamiento de

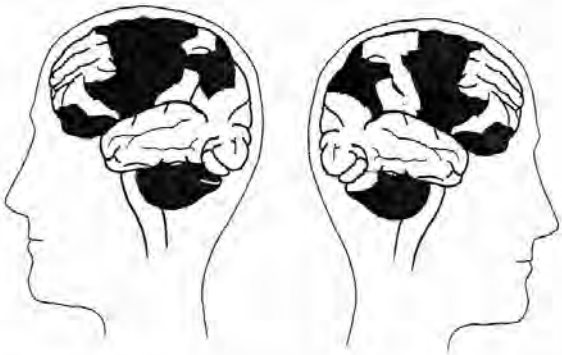


FIGURA 11.7. *Regiones cerebrales similares están activas cuando realizamos un movimiento (en la izquierda de la imagen) y cuando simplemente imaginamos que lo hacemos (en la derecha).*

destrezas físicas, como practicar deporte, bailar, actuar y quizá incluso pintar y dibujar. Ejercitarse uno mismo en la formación de imágenes mentales puede ser útil. En las personas de edad avanzada, la gimnasia mental tal vez ayude a mantener la fuerza muscular. El ejercicio mental ya se practica en diversas firmas de meditación, el yoga y el tai chi. El cerebro está pensado para estar en movimiento.

APRENDIZAJE MEDIANTE TERAPIA

La *terapia conductual*, que a menudo resulta satisfactoria para tratar problemas como las fobias y la conducta obsesivo-compulsiva, deriva de estudios de aprendizaje en animales. El supuesto en el que se basa la terapia conductual para tratar las fobias, por ejemplo, es que la persona fóbica tuvo una experiencia negativa inicial con el objeto fóbico, y que la evitación de dicho objeto ayuda a conservar la fobia. Gracias a investigaciones sobre condicionamiento aversivo en animales, se sabe que evitar el objeto aversivo (que se percibe como desagradable o negativo) mantiene la aversión, mientras que encontrarse con el objeto y descubrir que en realidad no es perjudicial la reduce. La terapia conductual a menudo incluye que el individuo fóbico deba enfrentarse al objeto fóbico (pongamos, por ejemplo, arañas) en condiciones seguras y fiables, estando totalmente relajado, para «reaprender» que no es dañino.

En vez de intentar modificar la conducta de alguien, la terapia cognitiva «reenseña» a las personas sobre el modo de *pensar* acerca de una determinada cuestión. Por ejemplo, evidentemente es esencial convencer a los que sufren anorexia de que cambien su conducta, pero igual de importante es modificar sus actitudes hacia sí mismos y hacia la comida. Por lo general, sólo este último cambio —cognitivo— tiene efectos duraderos.

Estudios de neuroimágenes realizados por Helen Mayberg y sus colegas de Toronto han revelado que, cuando alguien experimenta terapia cognitiva, se producen cambios físicos en su cerebro. Sabemos desde hace mucho tiempo que distintos tipos de sustancias pueden afectar a la función cerebral —hace más de cincuenta años se descubrió que los fármacos antidepresivos aliviaban la depresión al afectar al sistema cerebral de

la serotonina—. No obstante, el hallazgo de que enseñar a una persona a pensar de manera distinta puede tener en el cerebro efectos parecidos es fascinante.

Podemos advertir paralelismos entre las técnicas de terapia cognitiva que enseñan nuevas maneras de pensar a personas depresivas o anoréxicas y las técnicas para enseñar matemáticas, lenguaje o destrezas de tipo práctico. Del mismo modo que la terapia cognitiva modifica la función cerebral, cabe suponer que enseñar y aprender tienen efectos en el cerebro. En el futuro acaso sea provechoso desarrollar programas de formación que se propongan volver a enseñar al cerebro a aprender, igual que la terapia cognitiva «reenseña» al cerebro. Las lecciones derivadas de cómo se lleva a cabo y funciona la terapia cognitiva podrían ser útiles en la rehabilitación de personas que no disfrutaron de una buena educación en la infancia, que por naturaleza aprenden con dificultad o que simplemente quieren mejorar sus capacidades de aprendizaje.

CAPÍTULO 12

APROVECHAMIENTO DE LAS CAPACIDADES DE APRENDIZAJE DEL CEREBRO

En el futuro habrá toda clase de formas nuevas y radicalmente distintas que permitan incrementar el potencial del cerebro para aprender. En este capítulo examinamos varias direcciones nuevas de investigación sobre sistemas no convencionales que usa el cerebro para aprender. Nos ocuparemos especialmente de estudios acerca de cómo el sueño, la hipnosis, la recompensa y la asunción de riesgos, así como la comida y las vitaminas, afectan a los procesos cerebrales responsables del aprendizaje. ¡Quizás algún día sea posible tragarse una píldora para aprender!

Sueño y aprendizaje

¿Por qué generalmente estamos despiertos de día y dormimos de noche? El ciclo sueño-vigilia es una parte importante del sistema de patrones corporales diarios, que reciben el nombre de *ritmos circadianos*, expresión que viene del latín y significa «ciclo diario». Además del sueño, los ritmos circadianos también regulan la actitud alerta, la capacidad cognitiva y el funcionamiento de los movimientos. El estrés y la ansiedad pueden alterar los ritmos circadianos, lo cual acaso tenga consecuencias graves para el aprendizaje. Recientes estudios científicos han confirmado el papel crítico del sueño en el modo de aprender de la gente y el nivel de su rendimiento. El sueño influye en cómo adquirimos y mantenemos destrezas nuevas y en cómo recordamos información, así como en nuestra capacidad para pensar creativamente.

El sueño es un estado de la consciencia en el que el cerebro se comporta de manera espectacularmente distinta a como lo hace en el estado de vigilia. Durante el sueño existen dos tipos principales de estado cerebral. En el sueño de *movimientos rápidos de los ojos* (*REM*, por *rapid eye movement*), el cerebro está muy activo —genera frecuentes impulsos, lo que recuerda a la actividad cerebral durante el estado de vigilia—. No obstante, hay una diferencia muy importante entre la vigilia y el sueño REM: durante este último todos los músculos corporales están paralizados (salvo los oculares, que se mueven rápidamente, de ahí su nombre). Es durante el estadio REM cuando soñamos más. El otro tipo se conoce como *sueño de ondas lentas*. En este estadio, los impulsos generados por el cerebro son lentos e infrecuentes. Es durante el sueño de ondas lentas cuando acaso el individuo hable o camine dormido (sonambulismo), pues, a diferencia del estadio REM, en el de ondas lentas los músculos no están paralizados.

En un experimento realizado por Chiara Portas y sus colegas de la Universidad de Londres se utilizó RMf para investigar qué pasa en el cerebro que duerme. Fue un trabajo hecho por amor al arte: los voluntarios del estudio debieron permanecer despiertos toda una noche para garantizar que a la mañana siguiente se dormirían en el escáner. Portas se quedó levantada con ellos y dirigió la exploración cerebral al otro día

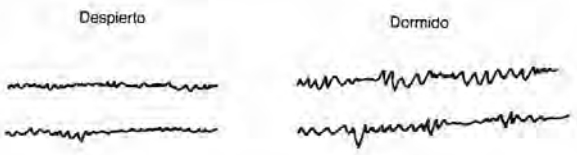


FIGURA 12.1. *El sueño de movimientos rápidos de los ojos (REM) se caracteriza por actividad cerebral espontánea (medida por EEG) y movimientos de los ojos (medida por electrooculograma, EOG).*

—y a diferencia de los voluntarios, ¡no se puso a dormir!—. La investigadora quería saber si el cerebro respondía a un estímulo destacado incluso durante el sueño. Así, mientras los individuos dormían en el escáner, se cercioró de que estuvieran en el estadio REM y luego les puso una y otra vez su propio nombre grabado en una cinta.

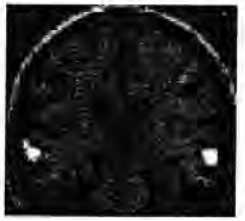
Sorprendentemente, las mismas regiones cerebrales, entre ellas la *corteza auditiva* (el área que procesa los sonidos), respondían más al nombre del participante que a cualquier otro sonido. Es como si el cerebro, aunque profundamente dormido, estuviera todavía asimilando información, sobre todo información de especial importancia para el que duerme. La diferencia estaba en que, mientras dormían, los participantes no eran en absoluto conscientes de que oían su nombre en una cinta. Cuando estaban despiertos y oían su nombre, se activaba una parte adicional de los lóbulos frontales. Esta región no estaba activada durante el sueño, por lo que su activación podría determinar la consciencia del estímulo destacado.

EL RELOJ CORPORAL

Nuestros ritmos circadianos rigen muchas funciones corporales, entre ellas la temperatura corporal, la presión sanguínea o los niveles hormonales en la sangre. El sistema circadiano también regula la capacidad para estar alerta, pensar con claridad y utilizar las facultades de movimiento de manera óptima. La capacidad física, tanto como la alerta mental que permite resolver crucigramas, varía en función de la hora del día. El rendimiento de los corredores, por ejemplo, alcanza su valor máximo entre mediodía y las nueve de la noche, y el mínimo entre las tres y las seis de la mañana. Mediante la organización de entrenamientos y carreras con arreglo a este ritmo circadiano, los atletas de élite pueden maximizar sus posibilidades de ganar competiciones.

La luz diurna es un importante regulador de los ritmos circadianos. El reloj circadiano reside en una parte del cerebro denominada *núcleo supraquiasmático* (NSQ). El NSQ regula la síntesis de *melatonina* en la glándula pineal durante la noche. La melatonina es transportada al cuerpo por la noche,

Activación de la corteza auditiva al oír el nombre estando despierto



Activación de la corteza auditiva al oír el nombre estando dormido

FIGURA 12.2. *La corteza auditiva resultaba activada por el nombre del participante incluso cuando éste estaba profundamente dormido.* Fuente: adaptado de figura 4 de Portas et al. *Neuron* 2000; 28(3): 991-999. Copyright © 2000 de Elsevier Science. Reimpreso con autorización de los autores y Elsevier Science.

provocando sensaciones de somnolencia. La producción de melatonina en el momento «equivocado» del día es una de las principales razones por las que nos sentimos tan raros al viajar a través de diferentes husos horarios.

CÓMO AFECTA EL DESFASE HORARIO (JET LAG) AL CEREBRO

En recientes investigaciones se ha observado que los efectos a largo plazo del jet lag son más graves que el simple cansancio o la sensación de ir como un zombi. Kwangwook Cho, de la Universidad de Bristol, Reino Unido, efectuó escáneres cerebrales a mujeres que habían estado trabajando como personal de vuelo durante cinco años. Comparó dos

grupos de azafatas: las integrantes del primero trabajaban para una compañía aérea que les concedía poco tiempo de recuperación (menos de cinco días) entre vuelos de larga distancia; las del otro estaban en una compañía que les permitía descansar durante catorce días entre dichos vuelos. Los estudios revelaron que el grupo de recuperación corta ejecutaba las tareas de memoria espacial peor que el de recuperación larga. También presentaba niveles más altos de *cortisol*, la hormona del estrés. Además, el volumen de ciertas partes de la *corteza temporal* y el *hipocampo* —regiones cerebrales relacionadas con el aprendizaje y la memoria— era menor en las integrantes del grupo de recuperación corta que en las del otro.

Parece que el jet lag confunde el reloj circadiano del cerebro (el NSQ), que envía señales —como el cortisol y la melatonina— para poner a cero el resto del cuerpo. Según las investigaciones, esta confusión puede tener consecuencias a largo plazo en el cerebro y en la capacidad cognitiva si no se concede suficiente tiempo para la recuperación tras un vuelo de larga distancia.

FIGURA 12.3. *Dado que la exposición a la luz pone en marcha el reloj corporal, una idea es envolver las piernas con luces brillantes durante vuelos que atraviesen diferentes husos horarios. Cabe la posibilidad de que esto neutralice el jet lag, pero no es demasiado práctico.*

Así pues, ¿qué podemos hacer para evitar el jet lag? Hay personas que toman pastillas de melatonina para adaptarse mejor a los nuevos husos horarios. Sin embargo, los estudios sobre las ventajas de este método no son concluyentes, ignorándose aún los potenciales efectos secundarios. Habida cuenta de que la luz diurna es un factor decisivo en la producción de melatonina, se ha manipulado la exposición a la luz para tratar trastornos de los patrones del sueño. Se ha demostrado la utilidad de la luz brillante para sintonizar mejor el reloj circadiano y el entorno. La exposición a la luz origina un aumento en la calidad y el tiempo total de sueño y acelera el cambio en los ritmos circadianos de la melatonina para que se acomoden al nuevo entorno. Un tratamiento innovador en fase de desarrollo es el uso de luces brillantes que envuelven las piernas del individuo durante un vuelo largo. Puede ser algo incómodo. En vez de ello, una de las cosas más eficaces que podemos hacer es pasar tiempo, cuanto antes posible, bajo luz diurna en el nuevo huso horario.

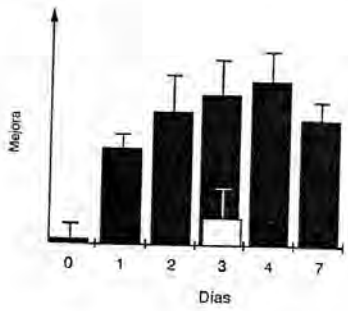


FIGURA 12.4. *La privación de sueño afecta al aprendizaje. El gráfico muestra la mejora gradual en una tarea a lo largo de unos días con el sueño normal (barras negras). La segunda noche se privó de sueño a los participantes, y al día siguiente el nivel de ejecución de la tarea bajaba espectacularmente (barra blanca).* Fuente: adaptado de figura 2 de Stickgold et al. *Nature Neuroscience* 2000; 3(12): 1237-1238. Copyright © 2000 de Nature Publishing Group. Con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

En muchos estudios se ha comprobado el efecto perjudicial de la privación de sueño en el aprendizaje. Cuando los seres humanos o los animales aprenden una tarea determinada —por ejemplo, la disposición de un nuevo entorno o un conjunto de reglas complejas— y se ven privados de sueño la noche siguiente a la sesión de entrenamiento, al día siguiente su rendimiento en la tarea disminuye radicalmente (véase figura 12.4). Un estudio sobre los efectos del trabajo por turnos en trabajadores de una central nuclear indicó riesgos potenciales para la seguridad debido a mayor distracción, somnolencia, irritabilidad y disminución de la alerta en los que hacían el turno de noche. El efecto de la privación de sueño en el rendimiento puede ser preocupante: ciertas investigaciones de la década de 1960 pusieron de relieve que tras 36 horas de vigilia, los oficiales de artillería comenzaban a tomar decisiones equivocadas y podían llegar incluso a bombardear a sus propias tropas.

Ciertos estudios han demostrado que, en tareas de razonamiento lógico, el cerebro puede superar los efectos de la privación de sueño, aunque sólo temporalmente. Las investigaciones sobre el insomnio y la privación de sueño revelan claramente que tras unas cuantas noches sin dormir, resultan gravemente afectadas la concentración y las capacidades de aprendizaje.

En un estudio psicológico realizado por Jim Horne y Yvonne Harrison, de la Universidad de Loughborough, se observó que siquiera una sola noche sin dormir puede dañar el pensamiento innovador, la toma de decisiones y la capacidad para actualizar planes a la luz de nueva información. En este estudio, los investigadores utilizaron un juego realista que exigía tomar decisiones. El rendimiento en el juego disminuía apreciablemente tras 32-36 horas sin dormir. Los participantes que habían estado sin dormir evidenciaban un pensamiento más rígido: tendían a repetir la misma decisión para diferentes tareas en vez de plantear ideas nuevas, y tenían dificultades para comprender las repercusiones de una situación que había cambiado o se había actualizado. En otras palabras, los voluntarios privados de sueño eran menos creativos y menos innovadores que los que habían dormido.

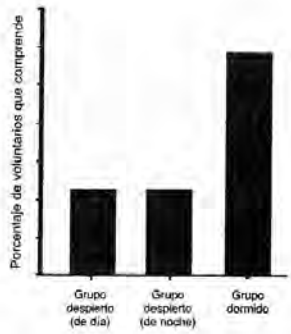


FIGURA 12.5. *Si los participantes habían dormido ocho horas, tenían más probabilidades de comprender de repente una regla oculta que si habían estado ocho horas despiertos. El mismo porcentaje de participantes llegaban a comprender mejor tras ocho horas de estar despiertos durante el día que los que habían estado despiertos durante la noche.* Fuente: adaptado de figura 2 de Wagner et al. *Nature* 2004, 22 enero; 427(6972): 352-355. Copyright © 2004 de Nature Publishing Group. Con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

Recientemente, un grupo investigador de Alemania ha descubierto que el sueño puede inspirar nuevas percepciones. Los voluntarios del estudio tenían que averiguar el número final de una serie de números. El orden de estos, y por tanto la identidad del último, estaba determinado por dos reglas simples. No obstante, a los participantes no se les decía nada de las reglas. Se podía resolver la secuencia por el método de tanteo o descubriendo las reglas ocultas. Los voluntarios aprendieron la tarea y fueron divididos en tres grupos. Los integrantes de un grupo fueron reexaminados tras ocho horas de haber estado despiertos durante el día. Los del segundo, tras haber estado despiertos durante la noche. Los del tercero, después de haber dormido ocho horas. Los voluntarios que, tras haber dormido por la noche, comprendieron de repente las reglas de la secuencia casi doblaban a los que se habían pasado ocho horas despiertos (figura 12.5). Así pues, el sueño parece facilitar la comprensión de una tarea recién adquirida.

EL CEREBRO INTENTA COMPENSAR LA FALTA DE SUEÑO

Los investigadores cerebrales han descubierto que el cerebro se esfuerza por compensar la falta de sueño. Un estudio de neuroimágenes puso de manifiesto que los lóbulos temporales resultaban activados por una tarea de fluidez verbal, la cual requería que el participante, tras una noche de sueño normal, no de privación de sueño, dijera todas las palabras posibles que empezaran por cierta letra. No obstante, los *lóbulos parietales* del cerebro sólo aparecían activados en las personas privadas de sueño. Al parecer, en condiciones de privación de sueño, las áreas parietales echan una mano como parte de un mecanismo compensatorio.

¿CUÁNTAS HORAS NECESITAMOS DORMIR?

En un amplio sondeo sobre el sueño llevado a cabo en los EE.UU. en 2000, más de las dos terceras partes de los encuestados afirmaban tener problemas para dormir varias noches a la semana. La mayoría de los adultos duermen menos de lo que necesitan. Por término medio, los adultos han de dormir al menos siete horas y media. Los niños, más. Sin embargo, casi todos los adultos duermen menos de siete horas cada noche. Al parecer, algunas personas llegan a acostumbrarse a necesitar menos horas de sueño, siendo un ejemplo famoso el de la antigua primera ministra británica Margaret Thatcher, a quien por lo visto sólo le hacía falta dormir cuatro o cinco horas. De todos modos, dormir más por la noche, además de incrementar los niveles de energía para el día siguiente, tal vez mejore el aprendizaje, la toma de decisiones y la innovación.

APRENDER MIENTRAS UNO DUERME

Mientras dormimos, al cerebro y al cuerpo les pasan muchas cosas importantes. Algunos científicos del sueño han sugerido que, durante el sueño, regeneramos energía gastada durante el día. En ciertos estudios también se ha observado que, mientras dormimos, determinadas células del cerebro y del cuerpo eliminan su toxicidad. Puede producirse asimismo

recuperación de células y tejidos corporales. Una idea bastante vieja, y antes controvertida, era que el sueño desempeñaba un papel importante en el aprendizaje. Recientes investigaciones con animales y seres humanos le han proporcionado un respaldo contundente. Esto no significa que podamos poner un libro bajo la almohada y absorber su contenido mientras dormimos. Pero el caso es que el cerebro sigue activo durante el sueño. Se ha interpretado que esta actividad corresponde a la formación de memorias sobre experiencias e información recibidas durante el día.

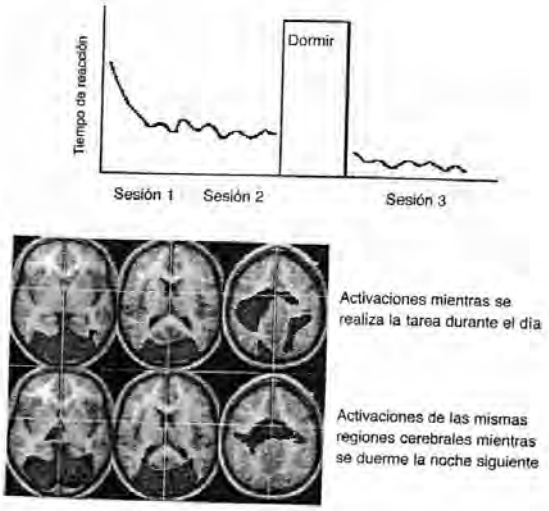

Tiempo de reacción
Dormir
Sesión 1
Sesión 2
Sesión 3
Activaciones mientras se realiza la tarea durante el día
Activaciones de las mismas regiones cerebrales mientras se duerme la noche siguiente

FIGURA 12.6. *Después de dormir una noche, la ejecución de una tarea es mejor que cuando dicha tarea se realizó por última vez el día anterior, lo que en la figura se refleja en la disminución de los tiempos de reacción. Esto quizá se deba a que durante el sueño se reactivan las regiones cerebrales utilizadas para llevar a cabo la tarea, permitiendo que tenga lugar la consolidación del recuerdo. En la figura se muestran cortes cerebrales vistos desde arriba.* Fuente: adaptado de figuras 1 y 2 de Macquet et al. *Nature Neuroscience* 2000; 3(8): 831-836. Copyright © de Nature Publishing Group. Con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

En ciertos experimentos científicos se ha observado que las regiones cerebrales implicadas en el aprendizaje del día anterior se reactivan durante el sueño. En un estudio realizado por Pierre Macquet, de la Universidad de Londres, durante el día se enseñó a un grupo de voluntarios una tarea de secuencias complejas. A medida que aprendían, un escáner cerebral tomaba registros de su actividad cerebral. Aquella noche se les efectuó un nuevo escáner cerebral mientras dormían. Los investigadores advirtieron que durante el sueño REM se volvían a activar las mismas áreas cerebrales activadas durante el entrenamiento. La actividad cerebral registrada en el estadio REM probablemente reflejaba el refuerzo del aprendizaje asimilado durante el día. Además, el desempeño de los participantes en la tarea mejoraba al día siguiente, tras haber dormido. Las reactivaciones cerebrales observadas eran efectivamente beneficiosas para la memoria y el aprendizaje.

Un estudio temprano se ocupó de cómo las aves aprenden a ejecutar sus patrones de canto característicos. Para que un pinzón cebra aprenda su canto, debe establecer una correspondencia entre la producción vocal (es decir, los movimientos específicos que hace con las cuerdas vocales para producir un sonido) y los sonidos que está oyendo (el resultado de su propia producción vocal). No es posible controlar esta correspondencia durante la acción real de cantar. Los científicos han descubierto que el canto del ave se origina en una secuencia —rigurosamente codificada desde el punto de vista temporal— de la actividad cerebral en el «área del canto» del ave. El *feedback* auditivo, necesario para corregir la producción vocal de la propia ave, va demorado. ¿Cuándo tiene lugar el necesario aprendizaje? Mientras el pinzón duerme, es posible comparar patrones cerebrales de la activación vocal almacenados y el *feedback* auditivo, y se puede aprender el canto. Y esto es realmente lo que pasa: la actividad cerebral espontánea durante el sueño en el área del canto se contrasta con la actividad registrada mientras el ave estaba despierta y cantando.

De hecho, la idea de que una persona que recibe información nueva debe «consultarlo con la almohada» tiene algo de cierto. Parece que echar una siesta inmediatamente después de aprender una tarea mejora el rendimiento en la misma. Las reactivaciones cerebrales durante el sueño tal vez reflejen el refuerzo de conexiones entre neuronas que son importantes para la tarea. De este modo, permiten que la nueva destreza se incorpore a la memoria a largo plazo.

En una serie de estudios realizados por Robert Stickgold y sus colegas de Harvard, se dieron instrucciones a un grupo de estudiantes para que realizaran una tarea compleja de discriminación de texturas cuatro veces al día. La tarea incluía detectar e informar de la orientación de una serie de barras diana presentadas brevemente contra un fondo de barras horizontales. Es un cometido difícil que requiere mucha atención y concentración. Todos los voluntarios que participaron en el estudio practicaron hasta alcanzar un 80 % de precisión.

Igual que habían hecho otros antes, los investigadores observaron que en cada sesión los participantes necesitaban cada vez más tiempo para responder con precisión. Este deterioro en la ejecución no se debe a la fatiga general: es posible restablecer el rendimiento si se presentan los estímulos en el lado opuesto de la pantalla del ordenador.

El nuevo hallazgo del estudio era que también podía recuperarse la ejecución si se echaba un sueñecito de 30-60 minutos entre dos sesiones. Y lo que es más, cuanto más larga la siesta, mejor el rendimiento posterior. Sólo descansar sin dormir no tenía efecto alguno en el rendimiento. La lección que sacamos de esta investigación es que podría ser una buena idea echar una cabezadita después de aprender.

PLANIFICACIÓN DEL APRENDIZAJE DE SUCESOS PARA UNA MÁXIMA EFICACIA

La organización y el ritmo de las sesiones de entrenamiento y de las clases en la escuela podrían sacar partido de los descubrimientos científicos sobre el sueño. Si, por ejemplo, vamos a planificar un taller de dos días con un tema principal

cada día, las investigaciones sugieren que se incrementaría la eficacia del aprendizaje si ambos temas se abordaran el primer día y se volviera sobre ellos el segundo. Para potenciar lo aprendido, se produciría refuerzo del aprendizaje durante el sueño, así como en el segundo día del taller. Las sesiones de aprendizaje también podrían programarse para última hora de la tarde, permitiendo así que los efectos beneficiosos del sueño mejoraran la ejecución de las tareas aprendidas.

Hipnosis y sugestibilidad

La hipnosis es un fenómeno fascinante que puede ser estudiado por las ciencias del cerebro. Al fin y al cabo, la hipnosis no es algo misterioso ni un estado tan diferente del sueño o la vigilia. Actualmente, muchos científicos que estudian la hipnosis creen que es tan sólo una forma de concentrar la atención y de estar absorto en pensamientos, imágenes o actividad. El acceso a este estado mediante un proceso de inducción hipnótica puede aumentar en mayor o menor grado la sensibilidad

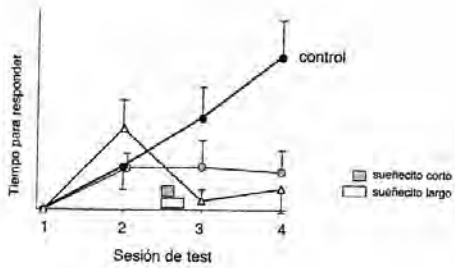


FIGURA 12.7. *Una siesta mejora el rendimiento. En el grupo control, cuyos miembros no echaron ninguna, el tiempo para responder aumenta gradualmente de un ensayo a otro. Las siestas reducen el tiempo que se tarda en responder, y cuanto más larga la cabezada, más rápida la respuesta.* Fuente: adaptado de figura 2 de Mednick et al. *Nature Neuroscience* 2002; 5(7): 677-681. Copyright © 2002 de Nature Publishing Group. Con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

de la persona a ciertas sugerencias. Los individuos muy hipnotizables (aproximadamente el 15 % de la población) son los que responden a la mayoría de las sugestiones que se les hacen tras una inducción hipnótica. Por su parte, los poco hipnotizables (también alrededor del 15 % de la población) reaccionan ante muy pocas, o ninguna, de las sugerencias efectuadas en estas circunstancias. La mayoría de nosotros nos encontramos en algún punto entre estos dos extremos de susceptibilidad a la hipnosis. Las sugestiones hipnóticas pueden producir en la experiencia cambios que van desde relajación, aumento de concentración y una sensación de bienestar, que la mayoría de las personas son capaces de alcanzar, hasta parálisis y alucinaciones, que sólo se observan en individuos muy hipnotizables. A menudo, la entrada en la hipnosis se hace bajo la guía de otra persona, el hipnotizador, pero también puede lograrlo cada individuo por su cuenta (autohipnosis).

En ciertos experimentos de neuroimágenes, la hipnosis va acompañada de actividad en grandes porciones de la *corteza visual* y los *lóbulos frontales*. Las activaciones visuales difícilmente van a sorprender, pues por lo general la inducción hipnótica conlleva mucha formación de imágenes visuales —imaginémonos en un lugar que nos parece especialmente tranquilo y relajante: por ejemplo, la playa o un bosque—. Las personas muy hipnotizables a menudo tienen una gran habilidad para formar imágenes visuales.

Tal vez un día se aprovechará la práctica de la hipnosis, amén de la profunda relajación que puede producir, para intensificar el aprendizaje y la productividad. Desde luego esto no surtirá efecto en todos los casos. Y naturalmente podría ser utilizado de manera negativa. De todos modos, igual que la gente hipnotizable puede conseguir mucho en la terapia, también puede conseguir mucho con el uso de sugerencias positivas en la educación.

La tremenda importancia de la emoción

Los estudios hacen a menudo hincapié en los cambios en la ejecución y pasan por alto los cambios subjetivamente más llamativos del estado de ánimo y la memoria que acompañan a dicha ejecución. En los estudios cerebrales se han empezado a investigar las relaciones entre las emociones y la memoria, que la mayoría de nosotros, partiendo de nuestra experiencia personal, esperaríamos que estuvieran intrincadamente relacionadas. Con frecuencia las emociones conciernen a la memoria, y los recuerdos conciernen a las emociones. Los episodios emocionales se recuerdan mejor que los sucesos neutros, lo que resulta especialmente cierto en el caso de los sucesos emocionales negativos. Investigaciones llevadas a cabo tanto con animales como con seres humanos han revelado que la *amígdala*, una parte importante del sistema emocional del cerebro (a veces denominado *sistema límbico*), está involucrada en la formación de memorias mejoradas a largo plazo que están asociadas a episodios que suscitaron miedo o tristeza.

En un estudio de RMf realizado por el grupo de Steve Kosslyn de Harvard, se hicieron escáneres a una serie de personas mientras miraban, y después recordaban, películas emocionalmente excitantes. La *amígdala* (que aparece en la figura 7.8) estaba activada mientras los participantes veían las películas emotivas, estando el nivel de actividad de esta estructura cerebral muy relacionado con el número de películas emotivas recordadas posteriormente. La actividad de la amígdala no tenía nada que ver con el número de películas neutras recordadas, lo que da a entender que la amígdala es crucial para el recuerdo de sucesos emocionalmente destacados y que su activación durante dichos sucesos podría ser la explicación de que estos se recuerden mejor que los episodios neutros. El mismo grupo de investigadores ha puesto de relieve que la amígdala interacciona con el *hipocampo*, una estructura cercana que también forma parte del sistema límbico y es decisiva para los recuerdos no emotivos. Podrían ser las conexiones entre la amígdala y el hipocampo las que hacen que las memorias de sucesos emotivos se formen tan rápidamente y sean tan duraderas.

La amígdala está especialmente implicada en el *condicionamiento de miedo*, que se produce cuando un animal aprende a evitar un suceso concreto, como un sonido o un lugar, debido a una anterior experiencia dolorosa o aterradora de este suceso. El condicionamiento de miedo puede darse tras una sola exposición del episodio negativo y, como tal, es un ejemplo de aprendizaje en un único ensayo.

Joseph LeDoux, de la Universidad de Nueva York, ha realizado durante los últimos veinticinco años estudios sobre el condicionamiento de miedo, en los que ha descubierto que la amígdala desempeña un papel crítico en esta clase de condicionamiento. Es la amígdala la que responde cuando, por ejemplo, vemos acercarse un coche y nos apartamos de un salto. En estas situaciones, a menudo *después* de reaccionar somos conscientes de por qué nos hemos movido. Por medio de la amígdala, el cerebro es capaz de detectar y responder al peligro con suma rapidez y eficacia, interrumpiendo cualquier cosa que estemos haciendo o a la que estemos prestando atención, a fin de desencadenar una reacción corporal inmediata. Esto resulta ser clave para la supervivencia, pues cuando fuéramos conscientes del coche y nos dispusiéramos a tomar una decisión sobre qué hacer, ya sería demasiado tarde.

La amígdala, responsable del aprendizaje inconsciente del miedo, se diferencia de las áreas cerebrales encargadas de otro aprendizaje más consciente, como recordar personas, lugares y fechas (véase capítulo 10). Estos tipos de recuerdos neutros conscientes se procesan en el hipocampo y ciertas partes de la *corteza prefrontal*. Así, el aprendizaje emocional inconsciente, que es automático e impulsivo, y el procesamiento cognitivo superior, como, por ejemplo, la comprensión de por qué una situación da miedo, se producen por separado en el cerebro. Hay múltiples conexiones fuertes entre estas distintas regiones cerebrales, y estos dos tipos de memoria determinan de manera conjunta qué hará realmente un individuo en una situación concreta.

Un ingenioso experimento llevado a cabo por la neurocientífica Elizabeth Phelps, de Nueva York, puso de manifiesto hasta qué punto es crucial la amígdala para realzar nuestra percepción de estímulos potencialmente peligrosos. Al examinar a pacientes con la amígdala dañada, observó que lo que importaba al respecto era precisamente la amígdala izquierda. En su experimento, los individuos con lesión en esta estructura se limitaban a mirar series de palabras que aparecían de forma consecutiva. Se sabe bien que cuando una palabra aparece muy rápidamente tras otra, la gente no lo advierte. Esto recibe el nombre de *parpadeo atencional* —es como si nuestra atención hubiera parpadeado y se hubiera perdido algo—. Parece que cada vez que vemos una palabra, nuestra atención

ha de recuperarse un poco para poder percibir una palabra nueva. Ahora bien, en el caso de una palabra con carga emocional no se experimenta este parpadeo. Si una palabra de la lista es «violación» o «asesinato», la vemos aunque aparezca en una serie rápida. La trascendencia emocional anula la necesidad de recuperación.

Esto no sucede en los individuos con la amígdala izquierda lesionada, en cuyo caso la importancia emocional ya no se registra bajo condiciones de rapidez —experimentaban el parpadeo atencional incluso con palabras muy emotivas—. Cuando los pacientes tenían mucho tiempo para mirar cada palabra, eran capaces de evaluar correctamente su significación emocional. Este ejemplo pone de relieve que las «inteligencias emocionales» intuitivas y las conscientes son dos cosas totalmente distintas basadas en sistemas cerebrales diferentes.

ACTUAR SIN PENSARLO Y RESISTIR A LA TENTACIÓN

Para que se produzca el aprendizaje óptimo, los estudiantes han de ser emocionalmente competentes. Esto incluye ser capaces de contenerse y refrenar las reacciones impulsivas ante sucesos; tratar con entornos educativos, docentes y temas nuevos; y colaborar con los maestros y otros estudiantes. Las investigaciones cerebrales quizá logren proporcionar a los educadores conocimientos sobre cómo ayudar a los niños a ser emocionalmente competentes. Ciertos estudios sobre la amígdala y los aspectos impulsivos del procesamiento emocional sugieren que la capacidad para actuar y reaccionar con inteligencia emocional tiene que ver con que exista comunicación entre distintas partes del cerebro. Esto requiere interacción de las regiones de niveles profundos que procesan emociones de manera automática, inconsciente y sumamente rápida, y de las estructuras cerebrales muy evolucionadas que se ocupan de procesos cognitivos más conscientes, como la planificación y la toma de decisiones.

Una de las funciones de la amígdala es interrumpir la actividad en curso con el fin de inducir respuestas rápidas ante situaciones peligrosas. Otra función es potenciar la percepción de estímulos potencialmente peligrosos. Se trata de

una herramienta especial que no sólo nos ayuda a sobrevivir en condiciones extremas, sino que también establece prioridades en la relativa seguridad del aula y el patio de recreo. La función de interrupción guarda relación con el contexto escolar, pues acaso sea responsable de cierta tendencia a la distracción. El estrés, la ansiedad y el miedo en el aula pueden debilitar la capacidad para aprender al reducir la capacidad de prestar atención a la tarea que se esté realizando. De todos modos, los estímulos que dan miedo se aprenden especialmente deprisa.

Para tener un buen rendimiento en la escuela, los niños necesitan aprender a controlar conductas impulsivas y a inhibir reacciones emocionales ante ciertos sucesos. Walter Mischel y sus colegas de la Universidad de Columbia, Nueva York, llevaron a cabo un estudio que ilustra la importancia de demorar la «gratificación» de un objeto deseado. A tal fin, examinaron la capacidad de niños de cuatro años para retrasar la gratificación. El niño estaba sentado a una mesa en la que había un apetecible bombón. En un momento dado el experimentador abandonaba la estancia durante cinco minutos porque supuestamente tenía que ir a buscar algo y se avisaba al niño de que no se comiera el bombón mientras estuviera solo. También se le decía que si no se comía el bombón, cuando el experimentador regresara podría comerse dos.

En este estudio y otros posteriores del mismo equipo se obtuvieron dos resultados importantes. En primer lugar, se observó que los niños eran capaces de esperar más tiempo si podía distraerse del bombón o si se les alentaba a pensar en sus cualidades abstractas, como la forma y el tamaño, más que en el sabor. Tiene su lógica. Pensar en lo delicioso que será un enorme bombón rosado de malvavisco no es de gran ayuda si uno está intentando no comérselo. Por otro lado, es una tarea difícil —la mayoría de los niños cedían a la tentación y se comían el bombón, e incluso los que resistían no tenían más remedio que cruzarse de brazos o desviar la mirada—. A esta edad, el cerebro es aún relativamente inmaduro, y los importantísimos *lóbulos frontales*, que nos ayudan a controlar los impulsos y nos permiten contenernos, no están desarrollados del todo hasta la edad adulta.

El segundo resultado —más controvertido— de estos estudios fue que los niños de cuatro años que habían exhibido el máximo autocontrol se convirtieron en adolescentes que en los estudios brillaron más que a sus compañeros impulsivos. Los niños con dominio de sí mismos más adelante obtuvieron puntuaciones mejores en test de perseverencia, concentración e incluso en pruebas lógicas y cognitivas. Además, ya en la adolescencia, estos niños con autodominio parecían más capaces de afrontar el estrés y ciertas situaciones sociales que los niños que no resistieron a la tentación de comerse el bombón. Estos estudios dan a entender que ser capaz de controlar los impulsos a una edad temprana acaso influya en el éxito académico y en las destrezas sociales del futuro. Resistir a la tentación es siempre más difícil que sucumbir a ella. ¿Qué factores son responsables de que un individuo sea capaz de hacer lo difícil? Aún no lo sabemos. Lo que sí sabemos es que resistir a la tentación tal vez sea difícil porque hay redes cerebrales grandes y antiguas dedicadas a procesar estímulos gratificantes, mientras que los sistemas cerebrales (de los lóbulos frontales) que posibilitan la inhibición de estas redes son comparativamente recientes.

FIGURA 12.8. *Los niños capaces de resistir a la tentación de comerse un bombón de malvavisco mientras el entrevistador abandonaba la habitación sacaban en años posteriores mejores notas que los niños incapaces de resistir a la tentación.*

La sensación de bienestar

El cerebro produce varias sustancias químicas, llamadas *neurotransmisores*, uno de los cuales es la *dopamina*. El sistema de la dopamina del cerebro es el que está implicado en la conducta de la asunción de riesgos y en las recompensas. El sistema dopamínico de los lóbulos frontales y del sistema emocional (*límbico*), situado en niveles profundos del centro del cerebro, responde a diversos estímulos intrínsecamente placenteros, entre ellos la comida y ciertos narcóticos. En estudios que han utilizado imágenes cerebrales para analizar la respuesta del cerebro a la nicotina y la cocaína se ha revelado que los efectos gratificantes de estas sustancias están asociados a respuestas cerebrales en el sistema límbico y la *corteza cingulada anterior*. Las sensaciones agradables producidas por estas regiones podrían explicar en parte por qué ciertas sustancias son muy adictivas. Curiosamente, en la mayoría de la gente las mismas regiones cerebrales responden también a la asunción de riesgos.

En ciertos estudios sobre los juegos de azar, se han evaluado los efectos del riesgo y la recompensa en el cerebro. Mientras juegan, la mayoría de las personas responden rápidamente a recompensas y castigos. Asumen más riesgos si las recompensas potenciales son elevadas, y menos si existen más probabilidades de perder (un mayor riesgo de «castigo»). Antonio Damasio y sus colegas de la Universidad de Iowa han observado que los individuos con lesiones en las regiones cerebrales frontales (*corteza orbitofrontal*) exhiben conductas extrañas en tareas de juego expresamente diseñadas. No responden a niveles diferenciales de recompensa y castigo. Estos individuos siguen asumiendo riesgos cuando la mayoría de las personas se detendrían, esto es, cuando está claro que continuar ocasionará casi seguro pérdidas importantes. Con toda evidencia, los lóbulos frontales, que están fuertemente conectados con el sistema límbico, normalmente ayudan a poner freno a esta conducta de aceptación de riesgos.

Un grupo de investigadores entre los que se contaban Ray Dolan y Rebecca Elliot, de la Universidad de Londres, utilizaron RMf para medir cómo respondía el cerebro a recompensas mientras una serie de voluntarios sanos realizaban una tarea de juego de azar. Las respuestas correctas se asociaron a recompensas económicas, y las incorrectas a penalizaciones también económicas, y los investigadores evaluaron la relación entre el nivel de ganancias o pérdidas acumuladas y la actividad cerebral. Diferentes áreas situadas en niveles cerebrales profundos respondían a recompensas y a castigos económicos. Varias áreas cerebrales profundas se activaban hasta llegar a niveles de recompensa elevados, que se alcanzaban cuando los participantes ya estaban ganando. Estas áreas, ubicadas principalmente en los *ganglios basales*, quizá sean, por tanto, las encargadas de producir la sensación de bienestar que anima a los jugadores a seguir adelante cuando tienen una buena racha. También se activaban ciertas regiones del sistema de la dopamina del cerebro cuando los participantes corrían riesgos elevados mientras estaban «perdiendo». Así pues, las mismas regiones cerebrales, basadas en la dopamina, son activadas por sustancias gratificantes y adictivas (como la cocaína y la nicotina) y por la asunción de riesgos.

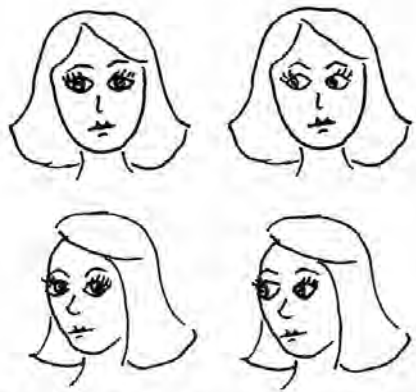


FIGURA 12.9. *Ver un par de ojos atractivos que nos miran (arriba a la izquierda) activa los centros cerebrales de recompensa más que si los mismos ojos están mirando hacia otro lado.* Fuente: adaptado de figura 1 de Kampe et al. *Nature* 2001; 413(6856): 589. Copyright © 2001 de Nature Publishing Group. Con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

No sólo es agradable tener experiencias positivas moderadas, sino que éstas pueden también mejorar la memoria. Un equipo de investigadores presentó listas de palabras a tres grupos de voluntarios para que se las aprendieran. Tras analizar su memoria de las palabras, a un grupo se le dio las gracias, a otro se le elogió, y al tercero se le dio un dólar. Una semana después, en un test imprevisto de recuerdo, el grupo que había recibido el dólar obtuvo mejores resultados que los otros dos. Esto da a entender que las recompensas moderadas inesperadas refuerzan los recuerdos y que las recompensas económicas pueden producir efectos considerablemente mejores que el refuerzo social por sí solo. Desde luego, las recompensas económicas eran pequeñas, lo que pone de manifiesto que un premio pequeño puede llegar muy lejos.

También los estímulos sociales son gratificantes e importantes para los sistemas cerebrales implicados en la evaluación de recompensas. Es efectiva incluso la mera expectativa de un estímulo social potencialmente recompensador. Esto quedó demostrado en un estudio de neuroimágenes llevado a cabo por Knut Kampe, de la Universidad de Londres. A unos voluntarios se les hicieron escáneres y se les enseñaron caras del sexo opuesto, y el sistema de recompensas de su cerebro se activó en función de si las caras miraban hacia ellos o hacia otra parte. Cuando una persona atractiva nos mira fijamente, el cerebro prevé la recompensa de interacción con ella. Si aparta la mirada intencionadamente —y seguramente empieza a mirar a otro—, causa decepción. En este caso, el sistema de recompensas del cerebro muestra reacciones fuertes. Curiosamente, a este sistema cerebral le daba lo mismo que la mirada correspondiera a una persona no atractiva.

Drogas inteligentes y efecto placebo

El frágil equilibrio de las sustancias químicas en el cerebro —la *farmacología* cerebral— puede influir en el aprendizaje y la memoria. Hay drogas y fármacos que potencian la memoria directamente; otras sustancias y estimulantes, como la cafeína, el alcohol, la nicotina y la glucosa, pueden facilitar o debilitar el aprendizaje. Las sustancias que actúan en la farmacología del cerebro quizá permiten a las neuronas volverse más sensibles en el entorno de aprendizaje. Se están llevando a cabo investigaciones con sustancias denominadas «drogas inteligentes» o «potenciadores cognitivos», de las cuales se dice que mejoran capacidades mentales como el aprendizaje, la memoria, la concentración y las facultades de razonamiento. Los «potenciadores cognitivos» sucedáneos de la comida y la bebida que hay actualmente en el mercado, y que supuestamente contienen sustancias químicas inteligentes que incrementan la agilidad mental, son cuando menos sospechosos. Existen pocas investigaciones científicas que hayan revelado un efecto fiable de estos productos en el aprendizaje o la agilidad mental.

Aunque pueda demostrarse una posible consecuencia de estas sustancias en el aprendizaje, ¿qué significaría esto? Es muy difícil separar los verdaderos efectos de las drogas inteligentes y los efectos *placebo*. Estos últimos, que probablemente se deben a la creencia de que un fármaco está actuando, son tan fuertes que a veces cuesta poner de manifiesto un efecto «real» además del efecto placebo.

Recientemente, diversos estudios han revelado los efectos inequívocos de los placebos en el cerebro y la conducta. En un estudio llevado a cabo por Martin Ingvar y Pregdrag Petrovic, de Estocolmo, se hicieron escáneres a voluntarios mientras estos soportaban varios niveles de dolor. De hecho, ninguno de los estímulos dolorosos lo era demasiado, en todo caso sólo lo suficiente para que los participantes los consideraran «ligeramente dolorosos». En determinadas condiciones, al tiempo que recibían los estímulos dolorosos, los voluntarios recibían también una inyección de un analgésico o de un placebo: este último era una simple solución salina y no tenía propiedades analgésicas ni terapéuticas de ninguna clase. No obstante, los voluntarios no eran conscientes de que era una solución salina —se les dijo que se les daría un analgésico durante todo el experimento—. En otras palabras, creían que la solución salina era un calmante. Los resultados del estudio pusieron de relieve los impresionantes efectos de los placebos: todos los participantes explicaban que el estímulo era menos doloroso después de recibir o bien el fármaco o bien la solución salina del placebo.

Lo que sorprende todavía más es que, según los escáneres cerebrales, la solución salina tenía en las redes de dolor del

cerebro un efecto muy similar al del analgésico verdadero. La simple creencia de que el fármaco reducirá el dolor afecta a las partes del cerebro que procesan el dolor.

Para explicar el efecto placebo, el psicólogo Nicolas Humphrey, de la Universidad de Londres, ha sugerido que el efecto terapéutico acaso se deba a la movilización de energía adicional. Es como utilizar un depósito de reserva. Evidentemente, esto sólo se puede hacer durante un período limitado, y quizá para el sistema suponga un coste. Uno de los aspectos señalados de la potenciación mediante sustancias (reales o no) es que el individuo parece sacar provecho del «permiso» implícito para usar la reserva extra, lo que viene indicado por su disposición a tomar el fármaco. Sin este «permiso» implícito, al individuo le resulta más difícil reunir las reservas. Una posible explicación es que normalmente el organismo ha de satisfacer muchas demandas en competencia, y hay que distribuir los recursos de manera equitativa. Concretamente, debemos conservar energía de reserva para situaciones imprevistas. Por analogía, podemos imaginar que un depósito de reserva entra en funcionamiento sólo si se lo pide específicamente el primer conductor que necesita obtener permiso del propietario del coche.

APRENDIZAJE A BASE DE HIERBAS

Se han realizado con ratas varios experimentos que han aludido a los posibles efectos de los remedios a base de hierbas, como el ginseng, en el aprendizaje. Algunos de estos estudios han revelado que las ratas a las que se da dosis elevadas de ginseng aprenden el trazado de un laberinto más deprisa que las que no reciben dosis alguna. Esto se debe a la producción en el cerebro de una sustancia química utilizada en la memoria y que recibe el nombre de *acetilcolina*. Pero, ¿cómo podemos estar seguros de que lo que mejora es el *aprendizaje*? En vez de favorecer directamente el aprendizaje y la memoria, el ginseng quizás ayuda a las ratas a encontrar la salida del laberinto por otras razones. Puede que las vuelva más hambrientas, lo que aumentaría su velocidad porque saben que si salen del laberinto tendrán una recompensa en forma de comida. O podría motivarlas de algún

otro modo. Los remedios a base de hierbas y otras drogas inteligentes tal vez interaccionen con otros medicamentos o incluso con ciertos tipos de comida o bebida. En la actualidad se desconocen los efectos secundarios a largo plazo de estas hierbas.

Así que actualmente no tenemos suficientes conocimientos sobre las ventajas, los mecanismos o los efectos secundarios de los remedios de hierbas ni de las drogas inteligentes para recomendarlos como ayuda al aprendizaje. De todos modos, las investigaciones acerca de cómo diferentes sustancias y fármacos afectan al aprendizaje constituyen un campo en expansión. Es muy posible que distintos tipos de estilos pedagógicos tengan los mismos efectos que tomar una sustancia, o un placebo, en lo que se refiere a los sistemas químicos del cerebro. Saber cómo las sustancias pueden incrementar la capacidad del cerebro para aprender quizá nos revele más cosas sobre cómo determinados estilos de enseñanza pueden mejorar el funcionamiento de los mismos circuitos cerebrales.

Si hacemos una extrapolación del efecto de los placebos en la mejora del rendimiento, podemos recordar palabras de educadores dirigidas a infundir ánimo y otras formas de despertar entusiasmo en niños y adultos. Tener un mayor deseo de aprender y ser receptivo a las palabras de un modelo de rol puede ser para bien o para mal. No resulta difícil ver cosas que están peligrosamente cerca de la manipulación del pensamiento, como sucede en la publicidad o en la política. Dado que algunas de las maneras de influir en la movilización de energía de reserva para aprender pasan por la persuasión, acaso haga falta añadir una advertencia sanitaria: «¡Al mirar este anuncio, usted quizá aprenda cosas que no desearía!»

Somos lo que comemos

Para funcionar, el cerebro requiere una fuente continua de oxígeno. La actividad física, como correr, andar con brío y cualquier otro tipo de ejercicio aeróbico, mejora la circulación del oxígeno y su llegada al cerebro. Pero éste necesita algo más que oxígeno. También requiere agua y glucosa. El cerebro es agua en más de un 80 %. La deshidratación puede dañar gra-

vemente el aprendizaje, y el simple aumento de la cantidad de agua que bebemos al día puede favorecer la concentración y la memoria... hasta cierto punto.

El cerebro obtiene casi toda su energía de la glucosa, que es transportada en el torrente sanguíneo. No es ninguna sorpresa que comer con regularidad sea importante para que el cerebro funcione: todos conocemos la sensación de «colocón» y de letargia mental que sobreviene si nos saltamos una comida.

Una de las demostraciones más espectaculares del efecto de comer en la función cerebral se aprecia en el extraño trastorno conocido como fenilcetonuria. En esta afección, que resulta de una alteración metabólica, derivada en última instancia de defectos genéticos, el cuerpo es incapaz de digerir alimentos que contengan fenilalanina, presente en la mayoría de las cosas que comemos. Como esta sustancia química no se digiere adecuadamente, complejas reacciones químicas afectan al cerebro y en especial a los lóbulos frontales. El resultado es mal funcionamiento intelectual y falta de planificación y control de la atención y la acción. Un simple análisis de sangre al nacer puede detectar la afección, y en seguida es posible tomar medidas para establecer una dieta apropiada (bien que restringida). Aunque la dieta se inicie en etapas tardías de la vida, se pueden alcanzar mejoras en las puntuaciones de CI. Por el lado negativo, incluso en los casos de los afectados sólo levemente, se observan déficits en el funcionamiento intelectual.

El pescado y otros alimentos ricos en proteínas contienen dos aminoácidos, triptófano y L-fenilalanina, que pueden ayudar a incrementar las reservas energéticas y a estimular la producción de *serotonina* y *noradrenalina* (que desempeñan un papel en la generación de sensaciones de felicidad) en el cerebro. El triptófano, que por sí solo puede mejorar el humor en pacientes deprimidos y afecta a los circuitos cerebrales del estado de ánimo, también se encuentra en los huevos, la leche, los plátanos, los productos lácteos y las semillas de girasol. Uno de los aminoácidos cerebrales que origina sensaciones de vitalidad y empuje es la *tirosina*, que se utiliza en diferentes procesos bioquímicos para fabricar las sustancias químicas dopamina y noradrenalina; se encuentra en el pescado, el tofu y las verduras. La *endorfina* es otra sustancia química «feliz» que puede ser ingerida en la comida. Los principales productores de endorfinas son alimentos ricos en proteínas animales como el pavo, el pollo, la carne roja magra, los huevos y el queso.

Los ácidos grasos de cadena larga, conocidos como ácidos grasos omega-3 y omega-6, son de crucial importancia para el desarrollo y la función normales del cerebro. Los ácidos grasos de cadena larga son los componentes básicos de las membranas celulares y constituyen aproximadamente el 30 % del cerebro. Para ser eficientes, las sinapsis cerebrales requieren ácidos grasos de cadena larga. Estos nutrientes también son esenciales para el funcionamiento de los ojos. Los ácidos grasos de cadena larga sólo se pueden obtener de la dieta, y aun así la dieta occidental corriente generalmente es deficitaria en estos aceites, que están presentes de manera natural en peces como el salmón, el arenque o el atún. Se cree que estos aceites de pescado son sumamente beneficiosos no sólo para la salud; también tienen un efecto positivo en el estado de ánimo y las capacidades cognitivas. Según ciertos neurocientíficos, como Jack Pettigrew, de la Universidad de Queensland, Australia, los aceites de pescado ejercen un efecto estabilizador en el estado de ánimo y son antidepresivos eficaces.

Peter Willats, de Dundee, ha observado que el desarrollo visual y cognitivo de los niños pequeños puede verse influido por el contenido de su dieta en ácidos grasos cuando eran bebés. John Stein, de la Universidad de Oxford, recientemente hizo campaña a favor de los aceites de pescado por sus beneficios para el desarrollo cerebral. Sugería que deberían tomar más aceite de pescado especialmente los niños disléxicos.

Con toda evidencia, hay muchas sustancias beneficiosas para la capacidad mental y el aprendizaje. No obstante, están todas presentes en los alimentos de manera natural y nada indica que haga falta ningún suplemento alimenticio si la dieta es equilibrada. No tenemos la seguridad de que sea conveniente ingerir más de lo comprendido en una dieta adecuada que tiene un aporte suficiente de vitaminas y minerales. Parece igualmente obvio que si la nutrición es inadecuada, pueden producirse consecuencias negativas. Podemos apreciar aquí un paralelismo con el debate sobre el entorno rico

y estimulante en el desarrollo temprano del cerebro (capítulo 2). Nos consta que, en ambos casos, demasiado poco es perjudicial, pero sabemos muy poco sobre los efectos del «demasiado».

Hacia una nueva ciencia del aprendizaje

A lo largo de este libro hemos desarrollado una serie de cuestiones que, a nuestro juicio, es importante tener en cuenta en una nueva ciencia de aprendizaje, una ciencia interdisciplinar inspirada en la neurofisiología, la psicología y la educación. Aquí resumimos tres temas que hacen hincapié en que el aprendizaje no se limita a la infancia. Una nueva ciencia del aprendizaje abarca mucho más que los años de la escuela. Debe tomar en consideración que el aprendizaje puede durar toda la vida.

Primero, en muchos apartados del libro hemos subrayado que la conectividad del cerebro está cambiando continuamente. De hecho, el estado de partida del cerebro es la plasticidad. Es decir, cada vez que aprendemos algo nuevo, el cerebro cambia de alguna manera. Contrariamente a ciertas suposiciones previas, la plasticidad del cerebro no se limita a la infancia.

Segundo, la predisposición a que la experiencia realice ajustes en el cerebro influye en la plasticidad del mismo. Estos ajustes, aunque se traduzcan en una pérdida de flexibilidad, constituyen una parte esencial del desarrollo, pues confieren eficiencia y permanencia. Pese a que la mayor parte de los ajustes tienen lugar en fases tempranas, durante períodos sensibles del cerebro, ciertas regiones cerebrales, entre ellas los lóbulos frontales, siguen desarrollándose durante toda la adolescencia hasta entrada la edad adulta.

Tercero, en varios momentos de la vida el cerebro se reorganiza espectacularmente. Hemos analizado los tres principales tipos de cambio que experimenta. La mayoría de las células se desarrollan ántes del nacimiento, pero pueden crecer células nuevas incluso en el cerebro adulto. Esto parece ser cierto concretamente en el caso del hipocampo, que es una de las áreas cerebrales más decisivas para el aprendizaje y la memoria.

Otro cambio conlleva crecimiento y poda de conexiones sinápticas. Esto depende de programas genéticos, pero también del uso. Probablemente esta reorganización se produce en varias oleadas durante la infancia y la adolescencia.

Por último, durante el desarrollo singularmente largo del cerebro, los axones de las células se mielinizan de manera gradual. Esto acelera la velocidad de transmisión de señales que pasan de una neurona a otra. Todos estos cambios parecen depender, al menos en parte, de la experiencia ambiental, y aquí es donde el aprendizaje desempeña un papel clave.

Todo el mundo estará de acuerdo en que la educación cambia la mente. Enseñar a alguien a leer significa enseñarle a entender el significado de una página llena de garabatos o de una piedra cubierta de runas. Una vez hemos aprendido a multiplicar, nuestra mente considera que los números son multiplicables. Pero la educación no cambia sólo la mente sino también el cerebro. Algo cambia en nuestro cerebro cada vez que aprendemos algo nuevo, sea una cara, una palabra o una canción. La educación es al cerebro lo que la jardinería al paisaje. Modifica el cerebro no sólo la educación, sino la cultura en su sentido más amplio. Los ejemplos que hemos visto con cierto detalle tienen que ver con la alfabetización y la música, pero hay muchos más.

¿Qué sucede cuando el cerebro se desarrolla con arreglo a un programa defectuoso y el aprendizaje no puede proceder con normalidad? Un tema abordado en este libro es que el cerebro puede compensar, aunque casi nunca anular, programas defectuosos que parten del nacimiento o de fases anteriores. Al examinar trastornos del desarrollo en los que el aprendizaje resultaba afectado, tuvimos ocasión de estudiar un fallo en uno o más módulos de la mente. En el caso normal, los módulos apenas se pueden distinguir, pues el cerebro se desarrolla y funciona como una orquesta de muchos componentes que interaccionan. En el caso anómalo, distintos integrantes de la orquesta, debido a su ausencia o a que desafinan, pueden volverse notorios. Las investigaciones sobre cómo aprende el cerebro tiene usos concretos en el diseño de programas de enseñanza compensatoria para estos casos.

¿Puede la educación hacer que el cerebro sea mejor? La respuesta es rotundamente «sí». Los conocimientos de las generaciones anteriores pueden sernos transmitidos de modo

que podemos almacenar y aceder a más conocimientos, aprender y utilizar más destrezas, y ser más conscientes de qué afecta a nuestra vida mental. La educación también puede aliviar problemas del cerebro en crecimiento.

¿Cómo podemos utilizar nuestra capacidad cerebral con más eficacia? Creemos fervientemente que, a la larga, las ciencias cerebrales nos brindarán respuestas a esta importante pregunta. Al menos esta creencia puede incrementar nuestro deseo de aprender y enseñar.

Apéndice

HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA ESTUDIAR EL CEREBRO

Hemos hecho referencia una y otra vez a experimentos reales que se han realizado, o se están realizando, en el cerebro. Aunque hemos intentado describir la difícil ciencia en términos amables, quizá sería útil echar un breve vistazo a las herramientas que se utilizan en estos experimentos cerebrales. Hace un siglo, los científicos sólo eran realmente capaces de estudiar el cerebro humano no vivo, esto es, examinaban cerebros obtenidos de autopsias; sin duda se quedarían atónitos al ver lo rápido que ha avanzado la tecnología en los últimos cincuenta años.

Estamos viviendo una época apasionante para el estudio del cerebro, pues actualmente, para estudiar el cerebro humano vivo, podemos usar muchas herramientas, la mayoría de las cuales se basan en el principio de que las células cerebrales transmiten información en forma de impulsos eléctricos.

El cerebro transmite información en forma de impulsos eléctricos

Como las demás células del cuerpo, las neuronas funcionan como pequeñas baterías. Existe una diferencia de voltaje (casi la décima parte de un voltio) entre el interior y el exterior de la célula, siendo el primero más negativo. Cuando se activa, la neurona descarga un impulso denominado *potencial de acción*. Entonces iones sodio atraviesan a toda

prisa los poros de la membrana, lo que invierte brevemente el voltaje a través de la misma.

Se pueden medir impulsos eléctricos en neuronas mediante el uso directo de electrodos. Por lo general, los denominados estudios electrofisiológicos se llevan a cabo en animales y suponen la toma de registros en neuronas individuales. Esto es técnicamente muy complicado porque las neuronas son pequeñísimas (aunque varían en tamaño según cuál sea la región cerebral, siendo más fácil tomar registros en unas que en otras). Los registros se efectúan con agujas filiformes introducidas en el cerebro del animal mientras está anestesiado y se le presenta estimulación sensorial, o bien está despierto y ejecutando una tarea determinada. Esta técnica proporciona una medida directa de la actividad en la neurona. Pese a que en este libro nos hemos concentrado en experimentos con el cerebro humano, de vez en cuando hemos hecho alusión a importantes investigaciones llevadas a cabo con animales. Este es concretamente el caso del capítulo 2, donde analizamos el desarrollo del cerebro.

Tomar registros de actividad neuronal en el cerebro humano es difícil. Muy de vez en cuando ha sido posible averiguar qué pasa cuando se estimulan eléctricamente células del cerebro humano. Estos estudios, aunque infrecuentes, asombran por la profusión de detalles que revelan acerca de los recuerdos, las emociones y las acciones a las que podemos acceder «tocando» simplemente una célula nerviosa concreta o más bien fascículos de cientos de miles de células nerviosas. El neurocirujano americano Wilder Penfield fue el primero en demostrar que se pueden estimular fascículos de neuronas cerebrales de pacientes que experimentan cirugía cerebral. Por lo general, a las personas que se ofrecieron voluntarias para este estudio se les iba a practicar una intervención quirúrgica a cráneo abierto para curar la epilepsia. Esto es posible porque el cerebro no contiene receptores del dolor, de modo que durante la operación el paciente puede permanecer despierto y consciente sin sentir molestia alguna. Penfield quedó pasmado al descubrir que la estimulación de pequeñas regiones de la corteza temporal hacía que los pacientes evocaran recuerdos vívidos de su infancia. A algunos cirujanos les gusta mantener al paciente despierto durante la intervención debido a la finalidad primordial de descubrir lugares del cerebro que están operando: por ejemplo, saben que no deben tocar las áreas que, cuando se estimulan, afectan al habla.

Para evaluar la actividad cerebral en los seres humanos existen diversos métodos no invasivos que miden la actividad de grupos de miles o millones de neuronas conectadas entre sí en regiones cerebrales concretas. ¡El número de neuronas que contiene cada región cerebral es equiparable al número de personas que viven en una ciudad grande!

MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL CUERO CABELLUDO MEDIANTE EEG

Los cambios de voltaje dentro de todas las neuronas activas originan diminutos campos eléctricos que irradian a través del tejido cerebral, el cráneo y la piel, pudiendo ser captados mediante electrodos pegados a la superficie del cuero cabelludo. Estos registros constituyen lo que se conoce como *electroencefalogramas* (*EEG*). El EEG mide la actividad de poblaciones de neuronas. Para detectar una señal, hace falta que estén activas muchos miles de neuronas. Normalmente, esto se promedia a lo largo de varios segundos, minutos o incluso horas. Se han medido diferentes «ritmos» durante los estados del sueño y la vigilia, que típicamente indican en qué grado alguien está «despierto» en el momento en cuestión. Mediante EEG, es posible distinguir períodos en que el individuo está más o menos despierto mientras duerme.

Los científicos cerebrales usan con frecuencia EEG para tomar registros de *potenciales evocados* (*ERP*, por *event-related potentials*, o potenciales relacionados con el suceso), que son respuestas eléctricas producidas en un momento fijo en relación con un estímulo determinado (el «suceso»). Para entender este concepto, imaginemos un estímulo simple, por ejemplo, un tono individual. Si registráramos la actividad cerebral que sigue a la presentación del tono, habríamos captado un potencial evocado. Es decir, habríamos tomado registros de las fluctuaciones de voltaje inducidas por el suceso (el tono) en el cerebro.

rece una voluntaria con una
nfantil, University College de

MEDIANTE MEG

nera un campo magné-
el cráneo pudiendo ser
ores sensibles de campo
as reciben el nombre de
primer experimento de
s visuales a los partici-
los campos magnéticos
dores observaron que
e posterior del cerebro,
éase ilustración A.2).
vez más en investiga-
rebro humano, pues a
contacto con el cráneo

ILUSTRACIÓN A.2. *En esta fotografía se aprecia a una voluntaria sentada en un escáner de MEG a punto de que se le efectúe una exploración cerebral. Los dos científicos, a uno y otro lado del escáner, están preparando a la voluntaria para la exploración, que es totalmente no invasiva y puede durar hasta dos horas.* Cortesía de la Unidad de Investigación Cerebral, Laboratorio de Baja Temperatura, Universidad Tecnológica de Helsinki, Filandia.

Relación entre la actividad neuronal y el flujo sanguíneo en el cerebro

Cuando se activa una determinada población de neuronas, éstas requieren que fluya hacia ellas una mayor cantidad de sangre para reabastecer su suministro de oxígeno y glucosa,

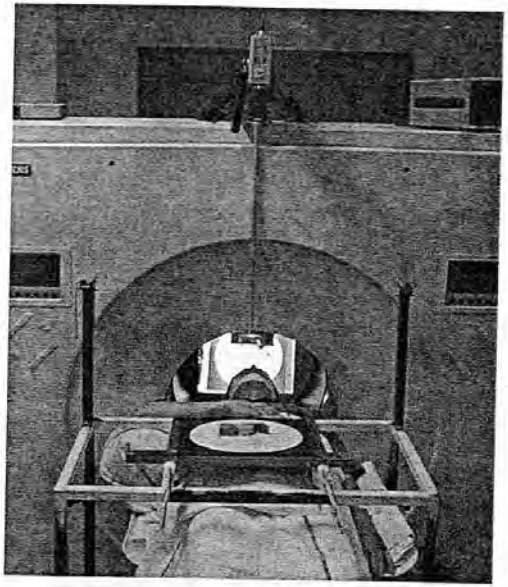


ILUSTRACIÓN A.3. *En esta fotografía apreciamos a un voluntario al que se le efectúa un escáner de TEP. En este ejemplo, el individuo está realizando un experimento en el que mueve distintos bloques de madera de colores.* Cortesía de Thierry Chaminade, CERMEP, Lyon, Francia.

de los que dependen para conseguir energía. Esta provisión regular de energía es crucial para la función cerebral normal —de hecho, el cerebro utiliza una quinta parte de toda la energía consumida por el cuerpo—. El estrecho acoplamiento entre la actividad neuronal y el metabolismo asociado del oxígeno y la glucosa, y por tanto el flujo sanguíneo, es el principio que subyace a dos de las técnicas de imágenes cerebrales más ampliamente utilizadas: TEP y RMf.

La *tomografía de emisión de positrones* (*TEP*) mide el volumen y la ubicación del flujo sanguíneo en el cerebro. Por lo común, se lleva a cabo inyectando cantidades muy pequeñas de una sustancia química marcada radiactivamente (denominada «indicador») en el torrente sanguíneo del individuo, el cual transporta el indicador por todo el cuerpo. Podemos seguir al indicador a medida que fluye en la sangre por el cerebro y emite *positrones*. Una cámara especial detectora de radiaciones (véase ilustración A.3) rodea la cabeza de la persona y mide los lugares de su cerebro donde se localizan los positrones emitidos por el indicador —y, por tanto, la sangre.

A continuación, en un proceso denominado «tomografía computerizada», ordenadores de gran potencia utilizan

ILUSTRACIÓN A.4. *En esta fotografía aparece un voluntario al que se va a efectuar una exploración mediante RMf. Está tendido dentro del escáner mientras un radiógrafo ajusta la posición del aparato y se asegura de que el individuo está cómodo.* Cortesía del Departamento Wellcome de Neurociencia de Imágenes, University College de Londres.

datos de TEP para generar una imagen tridimensional multicolor que muestra las regiones cerebrales en las que aumenta más el flujo sanguíneo. Aunque los estudios de TEP han proporcionado información enormemente importante, el método requiere cantidades diminutas de sustancias radiactivas. La TEP está siendo sustituida cada vez más por otras técnicas de neuroimágenes, especialmente la resonancia magnética funcional (RMf), que no incluyen inyecciones de sustancias radiactivas.

USO DE IMANES PARA EXPLORAR EL CEREBRO

Las *imágenes de resonancia magnética* (*RM*) utilizan un campo magnético de gran intensidad para producir imágenes tridimensionales de alta definición de estructuras cerebrales sin inyectar indicadores radiactivos. Alrededor de la cabeza de la persona, un gran imán cilíndrico crea un campo magnético, a través del cual se envía un impulso magnético (véase ilustración A.4). Distintas estructuras cerebrales (por ejemplo, las denominadas sustancia blanca y sustancia gris, los vasos sanguíneos, los fluidos y los huesos) tienen propiedades magnéticas distintas y, por tanto, en la imagen de RM aparecen diferenciadas. Sensores colocados dentro del escáner registran las señales procedentes de las diferentes estructuras, y esta información permite a un ordenador construir una imagen. Mediante la RM, los científicos pueden representar con gran detalle anatómico estructuras cerebrales tanto de la superficie como de niveles profundos. Parece una fotografía de rayos X.

En los últimos quince años se han desarrollado técnicas que permiten a los científicos usar RM para representar imágenes del cerebro en funcionamiento. Esto se conoce como *RM funcional* o *RMf*. Cuando las neuronas se vuelven activas, demandan que les llegue una provisión de oxígeno a través de la sangre. Lo que detecta el escáner de RMf es este oxígeno de la sangre debido a que tiene propiedades magnéticas. Igual que la TEP mide la cantidad de sangre que fluye a regiones concretas del cerebro, la RMf mide la cantidad de agua oxigenada que es enviada a regiones cerebrales específicas. Esta información se utiliza para hacer «películas» de cambios en la actividad cerebral a medida que los voluntarios ven u oyen determinados estímulos y realizan otras cosas, como responder preguntas o pulsar botones.

ILUSTRACIÓN A.5. *Esta fotografía muestra a una voluntaria que está siendo estimulada en la parte superior de su cerebro mediante EMT.* Cortesía de Vincent Walsh, del Instituto de Neurociencia Cognitiva, University College de Londres.

ESTIMULACIÓN MAGNÉTICA DEL CEREBRO

La *estimulación magnética transcraneana* (*EMT*) es una técnica en la que se utiliza una bobina magnética, colocada encima del cuero cabelludo, para estimular, mediante impulsos adecuadamente débiles, grupos de neuronas en una región cerebral limitada y provocar trastornos temporales de la función. Se puede utilizar la EMT para investigar el funcionamiento del cerebro humano porque nos permite averiguar qué pasa con la conducta cuando se estimula, y por tanto se altera temporalmente, una parte determinada del cerebro. Esta técnica permite a los investigadores sacar conclusiones sobre si una

región es realmente necesaria para llevar a cabo una tarea. Si una persona aún puede ejecutar la tarea pese a la alteración de ciertas regiones cerebrales, con toda evidencia la región no es esencial para la ejecución.

Estudio del cerebro lesionado

Durante siglos, se ha estudiado el funcionamiento del cerebro indagando la conducta de individuos con determinada parte del cerebro dañada (o «lesionada»). Esto nos permite conocer mejor qué funciones conductuales controla normalmente esta área.

Para los científicos es especialmente interesante el ejemplo de dos pacientes cuya particular característica es que uno es la imagen especular del otro. Imaginemos que un paciente tiene una lesión en una región cerebral (denominada X) y exhibe deterioro en una destreza (llamémosla A). Esto da a entender que la región cerebral X está implicada en la destreza A. Pero de hecho no podemos decir mucho más. Para afirmar que la región cerebral X procesa específicamente la destreza A hemos de encontrar un segundo paciente que sufra una lesión en una región cerebral diferente (Y) y muestre un impedimento en una destreza distinta (B), pero no en la A. La existencia de dos individuos así recibe el nombre de *disociación doble*, la cual pone de manifiesto que la región cerebral X procesa la destreza A (no la B), y que la región cerebral Y procesa específicamente la destreza B (no la A). Los conocimientos adquiridos así a partir de pacientes con lesiones cerebrales se complementan con los obtenidos en estudios de EMT realizados en personas sanas.

Existen muchos otros métodos para investigar el funcionamiento de las células cerebrales, las sustancias químicas cerebrales y el funcionamiento general del cerebro. Los estudios se realizan tanto con animales como con seres humanos, pues unos cerebros y otros, al menos en cuanto a las funciones más básicas, son muy parecidos.

LECTURAS ADICIONALES RECOMENDADAS

Baron-Cohen, Simon (2004). *La gran diferencia: cómo son realmente los cerebros de hombres y mujeres*. Barcelona: Amat Editorial.

Blair, James (2005). *The Psychopath: Emotion and the Brain*. Oxford: Blackwell.

Bloom, Paul (2000). *How Children Learn the Meaning of Words*. Cambridge, MA: MIT Press.

Bruer, John (1999). *El mito de los tres primeros años: una nueva visión del desarrollo inicial del cerebro y el aprendizaje a lo largo de la vida*. Barcelona: Paidós.

Butterworth, Brian (1999). *The Mathematical Brain*. Londres: Macmillan.

Damasio, Antonio (1994). *El error de Descartes: la emoción, la razón y el cerebro humano*. Barcelona: Crítica.

Dehaene, Stanislas (1998). *The Number Sense. How the Mind Creates Mathematics*. Londres: Penguin.

Frith, Uta (2003). *Autism: Explaining the Enigma*, 2.ª ed. Oxford: Blackwell.

Gellatly, Angus, Zárate, Oscar y Appignanesi, Richard (1999). *Introducing Mind and Brain*. Cambridge, RU: Icon Books.

Gazzaniga, Michael S. (1998). *Cognitive Neuroscience: The Biology of the Mind*. Nueva York: W W Norton.

Gelman, Rochel y Gallistel, C.R. (1978). *The Child's Understanding of Number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Gopnik, Alison, Meltzoff y Kuhl, Patricia (2000). *How Babies Think*. Londres: Weindenfeld & Nicolson.

Hermelin, Beate (2001). *Bright Splinters of the Mind: A Personal Story of Research with Autistic Savants*. Londres: Jessica Kingsley.

Johnson, Mark H. (1997). *Developmental Cognitive Neuroscience*. Oxford: Blackwell.

Karmiloff, Kyra y Karmiloff-Smith, Annette (1998). *Todo lo que tu bebé preguntaría, si supiera hablar*. Barcelona: Ediciones Oniro.

Koch, Cristof (2003). *La consciencia*. Barcelona: Ariel.
LeDoux, Joseph (1996). *El cerebro emocional*. Barcelona: Planeta.
Marcus, Gary (2004). *El nacimiento de la mente*. Barcelona. Ariel.
McManus, Chris (2002). *Right Hand, Left Hand: The Origins of Asymmetry in Brains, Bodies, Atoms, and Cultures*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
Morgan Allman, J. (2004). *El cerebro en evolución*. Barcelona: Ariel.
Nunes, Terezinha y Bryant, Peter (1997). *Learning and Teaching Mathematics: an International Prospective*. Hove: Psychology Press.
Pinker, Steven (1994). *El instinto del lenguaje: cómo crea el lenguaje la mente*. Madrid: Alianza Editorial.
Rakic, Pasko (1995). Corticogenesis in human and nonhuman primates. En M.S. Gazzaniga (ed.), *The Cognitive Neurosciencies* (pp. 127-145). Cambridge, MA: MIT Press.
Sainsbury, Clare (2000). *Martian in the Playground: Understanding the Schoolchild with Asperger's Syndrome*. Bristol, RU: Lucky Duck Publishing.
Scientific American (2003). Número especial: Better Brains. Septiembre.
Shaywitz, Sally (2003). *Overcoming Dyslexia: A New and Complete Science-Based Program for Overcoming Reading Problems at Any Level*. Nueva York: Knopf.
Slater, Alan y Muir, Darwin (1999). *Developmental Psychology*. Oxford: Blackwell.
Snowling, Margaret J. *Dyslexia*. Oxford: Blackwell.
Vygotsky, L.S. (1986). *Pensamiento y lenguaje*. Barcelona: Paidós.
Walsh, Vincent y Pascual-Leone, Álvaro (2003). *Transcranial Magnetic Stimulation: A Neurochronometrics of Mind*. Cambridge, MA: MIT Press.

GLOSARIO

Acetilcolina. Neurotransmisor del sistema nervioso central; importante en la estimulación del tejido muscular.

Ajuste. Proceso en virtud del cual mejoran ciertas destrezas y se pierden otras, a menudo debido a los estímulos ambientales a los que está expuesto un animal o un ser humano.

Amígdala. Región con forma de almendra, situada en el centro del cerebro, que es parte del sistema límbico y está implicada en el procesamiento rápido y automático de las emociones, concretamente el miedo y la angustia.

Amnesia. Pérdida de memoria, que puede ser más o menos grave.

Amnesia infantil. Incapacidad para recordar sucesos vividos personalmente antes de los tres años más o menos.

Anatomía funcional. Véase **Mapas (correspondencias) cerebrales**.

Anterior. En la parte delantera del cerebro.

Aprender de memoria. Enumeración consistente en la repetición de ítems sin significado que hay que recordar.

Aprendizaje condicional. Acción concreta asociada a una respuesta concreta.

Aprendizaje hebbiano. Si se estimulan al mismo tiempo dos neuronas que tienen conexiones sinápticas entre sí, estas conexiones se fortalecerán. Lo cual significa que, en el futuro, a la primera neurona le será más fácil originar la descarga de la segunda. Este mecanismo es la base del aprendizaje en el cerebro.

Aprendizaje implícito. Aprendizaje o memoria sin consciencia de ello.

Área de Broca. Región del lóbulo frontal izquierdo dedicada a la producción de lenguaje. Debe su nombre al neurólogo Paul Broca.

Área de la forma de las palabras. Región del lóbulo temporal inferior izquierdo, también denominada lóbulo temporal occipital; importante para la lectura competente, pues está invo-

lucrada en el reconocimiento y la recuperación instantánea del nombre de las palabras.

Área de Wernicke. Región situada en la base del lóbulo temporal izquierdo, implicada en la comprensión de palabras. Debe su nombre al neurólogo y psiquiatra alemán Carl Wernicke.

Área temporal media. Parte de la corteza temporal.

Autismo. Trastorno de desarrollo caracterizado por dificultades graves de comunicación social, deterioro del lenguaje y deseo obsesivo de monotonía.

Axón. Larga prolongación que se extiende desde el soma de una neurona. Los axones se utilizan para la comunicación a cierta distancia mediante potenciales de acción.

Bilateral. Ambos lados (del cerebro).

Biológico. Se refiere a explicaciones en términos de anatomía y fisiología.

Cableado duro. Se refiere a lo programado genéticamente para desarrollarse.

Ceguera de la mente. Teoría de los impedimentos sociales del autismo basada en la incapacidad de mentalización, es decir, de ser automáticamente consciente de que otras personas tienen pensamientos distintos de los de uno.

Célula cerebral. Véase **Neurona.**

Célula nerviosa. Véase **Neurona.**

Células progenitoras. Células que se dividen para formar todas las células nuevas del cerebro.

Cerebelo. De la palabra latina que significa «cerebro pequeño». Se halla en la parte posterior del cerebro y está implicado en la coordinación de movimientos, el aprendizaje y el equilibrio.

Cerebro social. Red de áreas cerebrales implicadas en la comprensión de los demás y en la comunicación social.

Circunvolución angular. Región situada en la frontera de los lóbulos temporal y parietal.

Circunvolución parahipocampal. Parte de la cara inferior de la corteza temporal, área conocida por su importancia en el reconocimiento de estímulos complejos.

Cognitivo. Se refiere a explicaciones en términos de constructos psicológicos.

Colículo superior. Estructura subcortical implicada en el procesamiento sensorial rápido, en especial el procesamiento visual.

«Colocación en invernaderos». Se refiere a enseñar a los niños muy pequeños destrezas académicas como lenguaje, lógica

y matemáticas mediante tarjetas ilustrativas, vídeos y otros materiales audiovisuales.

Comorbosidad. Coincidencia de varias afecciones. Del latín *morbus*, que significa «enfermedad».

Corteza. Literalmente «cáscara», «costra» o capa exterior. Véase **Corteza cerebral.**

Corteza auditiva. Parte de la corteza temporal que procesa el sonido.

Corteza cerebral. Capa más externa de tejido cerebral, especialmente evolucionada en el cerebro humano.

Corteza cingulada anterior. Tramo largo de la corteza frontal con muchas funciones, entre ellas controlar la conducta y las emociones y prestar atención.

Corteza entorrinal. Importante centro cerebral de la memoria. Proporciona input al hipocampo, otro centro de la memoria.

Corteza frontal. Véase **Lóbulo frontal.**

Corteza frontopolar. Región de la parte delantera del lóbulo frontal, situada encima de los ojos, implicada en la acción de recordar algo que debemos hacer en el futuro.

Corteza motora. Regiones cerebrales implicadas en la preparación y ejecución de movimientos.

Corteza motora suplementaria. Área situada inmediatamente delante de la corteza motora, en la parte central del cerebro, asociada a la preparación y la imaginación del movimiento.

Corteza occipital. Véase **Corteza visual.**

Corteza orbitofrontal. Parte de la corteza frontal, situada encima de los ojos en ambos lados del cerebro, implicada en el procesamiento y el control de la emoción.

Corteza parietal. Véase **Lóbulo parietal.**

Corteza parietotemporal. Región cerebral que abarca la parte inferior de la corteza parietal y la superior de la corteza temporal.

Corteza prefrontal. Parte anterior de la corteza frontal, especialmente evolucionada en simios y seres humanos, implicada en la planificación y selección de conductas y en la memoria.

Corteza premotora. Parte de la corteza frontal, en ambos lados del cerebro, implicada en la planificación y la realización de movimientos.

Corteza sensoriomotora. Franja de corteza que va de un oído al otro por la parte superior del cerebro, implicada en el control de movimientos y el procesamiento de inputs procedentes de la piel.

Corteza somatosensorial. Regiones cerebrales implicadas en el procesamiento del tacto y la textura.

Corteza temporal. Véase **Lóbulo temporal.**

Corteza temporo-occipital. Región cerebral que abarca la parte posterior de la corteza temporal y la parte anterior de la corteza occipital.

Corteza visual o corteza occipital. Regiones cerebrales implicadas en el procesamiento de atributos visuales, entre los que se incluyen la forma, el color y el movimiento.

Cortisol. Una hormona del estrés.

Cuerpo calloso. Masa de fibras que conecta los dos hemisferios cerebrales.

Dendrita. Formas delgadas que se proyectan desde el soma de una neurona. Las dendritas tienen con frecuencia muchas sinapsis que reciben información de otras neuronas.

Densidad sináptica. Número de sinapsis por unidad de volumen de tejido cerebral. Aumenta espectacularmente en las primeras etapas de la infancia.

Discalculia. Trastorno del desarrollo caracterizado por cierta dificultad para adquirir destrezas aritméticas.

Dislexia adquirida. Pérdida de capacidad de leer y/o escribir tras lesión en las áreas del lenguaje del hemisferio izquierdo.

Dislexia. Trastorno del desarrollo caracterizado por cierta dificultad para aprender a leer.

Dispraxia. Trastorno del desarrollo que afecta a la coordinación motora.

Dopamina. Sustancia química cerebral fabricada principalmente en los ganglios basales.

EEG. Electroencefalografía. Técnica de neuroimágenes utilizada para medir actividad eléctrica de neuronas a través del cuero cabelludo. Véase apéndice.

Ejercicio mental. Resultado de imaginar que realizamos movimientos o practicamos alguna habilidad física.

Electrofisiología. Estudio de la función cerebral mediante el registro de impulsos eléctricos generados por neuronas.

Empatizar. Ponerse uno en el lugar emocional de los demás.

EMT. Estimulación magnética transcraneana. Estimulación de regiones cerebrales a través de la parte externa del cráneo mediante impulsos magnéticos. Esto origina un trastorno temporal de la región afectada, por lo que puede revelarnos algo sobre el papel de la región cerebral que resulta estimulada durante una tarea concreta. Véase apéndice.

Endorfina. Sustancia química liberada de forma natural en el cerebro para reducir el dolor, y que en grandes cantidades puede hacernos sentir relajados y/o llenos de energía.

Espinas dendríticas. Diminutas protuberancias en las dendritas de una neurona, donde se encuentran a menudo las sinapsis.

Fonema. Pequeña parte del habla que corresponde a un grafema o letra.

Fonología. Procesamiento de los sonidos del lenguaje.

Formación de imágenes visuales o visualización. Se refiere a ver con la imaginación.

Funciones ejecutivas. Procesos de alto nivel de los lóbulos frontales, como la capacidad para inhibir conductas inadecuadas, planificar, seleccionar acciones, tener información en mente o hacer dos cosas a la vez.

Ganglios basales. Red de estructuras situadas en niveles profundos del centro del cerebro, e implicadas en la coordinación de movimientos y en el aprendizaje.

Genético. Se refiere a lo que se transmite de una generación a la siguiente por medio de genes.

Glía. Células de soporte de las neuronas.

Hemisferio. Mitad izquierda o derecha del cerebro.

Hereditario. Heredado de los padres a través de los genes.

Hipocampo. Estructura con forma de caballito de mar que, formando parte del sistema límbico, se halla situada en niveles profundos del lóbulo temporal y está implicada en el almacenamiento y la recuperación de recuerdos y la navegación espacial.

Homúnculo sensorial. Mapa de la corteza sensoriomotora que muestra las diferentes áreas que son importantes para las sensaciones en distintas partes del cuerpo. Este mapa está organizado como el cuerpo, de ahí que parezca un hombre pequeño u homúnculo.

Imágenes funcionales. Véase **Neuroimágenes.**

Imitación. Resultado de observar a los demás realizar tareas y luego intentar hacer lo mismo.

Inferior. Lado de abajo (del cerebro).

Inhibición. Como en la inhibición frontal; interrumpir o evitar una conducta.

Innato. De nacimiento. Véase también **Genético.**

Ínsula anterior. Parte frontal de la corteza insular, implicada en la percepción sensorial y las sensaciones viscerales o instintivas.

Interdisciplinar. Que combina diferentes esferas de estudio.

Lateralizado. En la izquierda o en la derecha; en un lado más que en el otro, asimétrico.

Lóbulo. Porción grande de la corteza. El cerebro tiene cuatro lóbulos: occipital, temporal, parietal y frontal.

Lóbulo frontal. Región grande situada en la parte delantera del cerebro, inmediatamente detrás de la frente. Es responsable de procesos cognitivos de alto nivel entre los que se incluyen la planificación, la integración de información, el control de emociones o la toma de decisiones. El lóbulo frontal es mucho mayor en el ser humano que en cualquier otra especie.

Lóbulo occipital. Región grande de la corteza, situada en la parte posterior del cerebro, donde se procesan atributos visuales, entre ellos el color, la forma y el movimiento.

Lóbulo parietal. Región grande de la corteza, situada en la parte superior y posterior del cerebro en ambos lados, donde se produce el procesamiento espacial y el cálculo matemático.

Lóbulo temporal. Región de la corteza, ubicada en ambos lados del cerebro, donde se produce el reconocimiento visual y la comprensión del lenguaje.

Mapas (correspondencias) cerebrales. Se refiere a hacer corresponder conductas y procesamiento sensorial con distintas regiones cerebrales, normalmente por medio de neuroimágenes.

Mecanismo de arrancada. Mecanismo de que está provisto el cerebro y que permite el aprendizaje rápido de una destreza concreta.

Medial. En o cerca del plano medio del cerebro, donde coinciden los dos hemisferios.

MEG. Magnetoencefalografía. Técnica de neuroimágenes utilizada para medir actividad magnética de neuronas a través del cuero cabelludo. Véase apéndice.

Melatonina. Hormona que ayuda a regular los ciclos sueño-vigilia y los ritmos circadianos.

Memoria de reconocimiento. Capacidad para reconocer objetos y caras.

Memoria de trabajo. Sistema que nos permite guardar y manipular información *on line* y hacer dos tareas a la vez.

Memoria episódica. Recuerdo de sucesos o episodios.

Memoria procedimental. Recuerdo de destrezas motoras, como atarse los cordones de los zapatos, tocar el piano o andar.

Memoria prospectiva. Se refiere a acordarse de hacer algo tras una demora.

Memoria semántica. Recuerdo de nombres, números, fechas y hechos.

Mental. Todo aquello que tenga que ver con la mente al expresarlo en el lenguaje cotidiano.

Mentalización. Capacidad automática para atribuir estados mentales, como deseos, creencias o sentimientos, a otros y a uno mismo. De este modo explicamos y predecimos conductas. Véase también **Teoría de la mente.**

Mente. Pensamientos y sentimientos en la cabeza, tanto si somos conscientes de ellos como si no lo somos. A diferencia de lo que pasa en el lenguaje cotidiano, en que a menudo se considera la mente en contraposición al cerebro, la mayoría de los neurocientíficos entiende que la mente es un producto del cerebro. **Mente-cerebro** es una expresión que subraya esta estrecha relación.

Mielina. Vaina blanca de grasa y proteína que envuelve cada axón y acelera la transmisión de impulsos eléctricos por las neuronas. La adición de mielina a los axones es un proceso importante y a largo plazo del desarrollo cerebral.

Módulo. Componente discreto de un sistema; sólo con gran ingenio es posible distinguir los módulos de la mente, que actualmente son motivo de controversia.

Naturaleza y cultura. Dos factores importantes del desarrollo: la estructura genética y la experiencia ambiental.

Neuroanatomía. Estructura del cerebro.

Neurobiología. Estudio de la estructura y la función del cerebro.

Neurociencia. Estudio de la estructura y la función del cerebro, la mente y la conducta.

Neurogénesis. Generación de nuevas células nerviosas.

Neuroimágenes. Técnicas utilizadas para medir actividad en el cerebro vivo, entre las que se cuentan EEG, MEG, RMf y TEP. Véase apéndice.

Neurología. Diagnóstico y tratamiento clínico de pacientes con enfermedades o lesiones neurales.

Neurona. Célula cerebral; el cerebro humano contiene cien mil millones de neuronas.

Neuronas especulares. Células de la corteza premotora del cerebro del mono que descargan cuando el animal efectúa la acción de agarrar y también cuando observa simplemente cómo otro mono, o un ser humano, realiza una acción semejante.

Neuropsicología. Diagnóstico, estudio y tratamiento de personas que han sufrido lesiones cerebrales.

Neurotransmisor. Sustancia química liberada en una sinapsis para posibilitar que se transmita información de una neurona a otra.

Noradrenalina o norepinefrina. Sustancia química importante para el control de la atención y la impulsividad. También actúa como hormona cuando es liberada por las glándulas suprarrenales, especialmente en respuesta al estrés.

Núcleo supraquiasmático (NSQ). Estructura cerebral profunda que regula la síntesis de melatonina durante la noche, con lo que contribuye a los ritmos circadianos.

Paciente de cerebro hendido. Persona cuyos hemisferios derecho e izquierdo ya no están conectados debido a lesión del cuerpo calloso, generalmente causada por cirugía para tratar una epilepsia de difícil cura. En estos casos infrecuentes, cada lado del cerebro funciona de manera independiente.

Parpadeo atencional. Incapacidad para advertir un segundo estímulo durante un breve período después de que se haya presentado un primer estímulo.

Período crítico. Período durante el cual hacen falta ciertos tipos de estimulación ambiental para que los sistemas motores y sensoriales del cerebro se desarrollen con normalidad. Recientemente, la mayoría de los científicos han abandonado el término, pues *período sensible* es más adecuado.

Período sensible. Período durante el cual es particularmente probable que el cerebro resulte afectado por la experiencia. Después de un período sensible, si el cerebro no ha estado expuesto a ciertos estímulos ambientales, es improbable que desarrolle con normalidad determinadas funciones sensoriales o motoras sin un input compensatorio especial.

Placebo. Fármaco falso que no contiene agentes químicos, a menudo una pastilla de azúcar.

Plano temporal. Región de la corteza temporal. El plano temporal izquierdo, que por lo general es mayor que el derecho, se encarga de descodificar el habla y la escritura.

Plasticidad. Capacidad del cerebro para adaptarse continuamente a circunstancias cambiantes.

PLP. Potenciación a largo plazo. Incremento duradero (más de una hora) en la eficacia de una sinapsis a causa de nueva actividad neuronal. Si se estimulan a la vez dos neuronas conectadas, aumenta la cantidad de señal que pasa de una a otra. Se cree que se debe al aprendizaje hebbiano.

Poda sináptica. Proceso en virtud del cual se eliminan sinapsis utilizadas con poca frecuencia. La primera y más importante oleada de poda sináptica se produce después de la sinaptogénesis de la primera infancia.

Polo temporal. Pequeña región de la parte delantera de los lóbulos temporales, contigua a la amígdala.

Posterior. En la parte de atrás.

Potencial de acción. Señal eléctrica que se desplaza desde el soma de una neurona, a lo largo de su axón, hasta una sinapsis a fin de transmitir información a otras neuronas.

Potenciales evocados. Respuestas eléctricas generadas por el cerebro que tienen lugar en un momento fijo en relación con un estímulo concreto y que pueden registrarse mediante EEG.

Psicología. Estudio del cerebro, la mente y la conducta.

Psicopatía. Trastorno del desarrollo caracterizado por falta de empatía hacia los demás y ausencia de remordimientos.

Región cerebral. Por lo general, este término se usa para aludir a una parte del cerebro que consta de millones de neuronas y está especializada en un determinado proceso (o varios).

Representación espacial. Conocimiento y recuerdo de posiciones en el espacio con ubicación en el cerebro.

Representación. Concepto, imagen o recuerdo en la mente; patrón de actividad neural en el cerebro que guarda relación con un concepto, imagen o recuerdo.

Respuesta condicionada. Conducta adquirida que está bajo el control de un estímulo previamente asociado: por ejemplo, en los perros de Pavlov, una respuesta salival ante la campanilla sola cuando ésta ha estado condicionada a la presentación de comida.

Ritmos circadianos. Reloj corporal que determina los estados de vigilia y de sueño. De la palabra latina que significa «ciclo diario».

RM. Imágenes de resonancia magnética. Técnica de neuroimágenes utilizada para observar la estructura del cerebro vivo. Véase apéndice.

RMf. Imágenes de resonancia magnética funcional. Técnica de neuroimágenes utilizada para medir los niveles de oxígeno en la sangre en el cerebro vivo. Véase apéndice.

Serotonina. Neurotransmisor que desempeña un papel importante en la depresión y los trastornos de ansiedad.

Sinapsis. Conexión o unión especializada que posibilita que pase información de una neurona a otra.

Sinaptogénesis o proliferación sináptica. Proceso mediante el cual el cerebro forma sinapsis nuevas. Tiene lugar una primera oleada de sinaptogénesis en la infancia temprana.

Síndrome de Asperger. Extremo leve del espectro del autismo. Toma el nombre de Hans Asperger, que escribió un célebre artículo en 1944, un año después de que Leo Kanner identificara y describiera el autismo.

Sinestesia. Combinación de diferentes inputs sensoriales. Los individuos que padecen esta afección a menudo perciben colores cuando oyen palabras.

Sistema límbico. Conjunto de estructuras cerebrales implicadas en diversas emociones, como la agresividad, el miedo, el placer, así como en la formación de recuerdos. El sistema límbico consta de varias estructuras, entre ellas el hipocampo, la amígdala, la circunvolución cingulada y el hipotálamo.

Sistema nervioso autónomo (SNA). Parte del sistema nervioso que controla funciones de diversos órganos y músculos del cuerpo, como el ritmo cardíaco o la respiración. No somos conscientes del funcionamiento de este sistema porque opera de manera involuntaria, refleja. Es responsable de las acciones rápidas en situaciones de emergencia: luchar, huir o permanecer inmóvil.

Sistema nervioso central (SNC). El cerebro y la médula espinal.

Subcortical. Se refiere a las estructuras cerebrales que hay debajo de la corteza cerebral, entre las que se incluyen la amígdala, el hipocampo y el colículo superior. Forman parte de una vía cerebral que nos permite efectuar movimientos rápida y automáticamente partiendo de lo que vemos. Compartimos estas capacidades con muchos otros animales.

Surco frontal superior. Parte superior de la corteza frontal.

Surco intraparietal. Pliegue profundo que baja por el lóbulo parietal, implicado en la atención, las evaluaciones comparativas y muchas otras funciones.

Surco temporal superior. Pliegue profundo que recorre el lóbulo temporal, implicado en la percepción de movimientos, acciones y caras de otras personas.

Sustancia blanca. Masas de axones que al microscopio o en las imágenes de RM se ven de color blanco debido a las vainas de mielina.

Sustancia gris. Masas de somas en el cerebro que al microscopio y en las imágenes de RM parecen grises.

Teoría de la mente. Conocimiento implícito, y a veces explícito, de que otras personas tienen estados mentales, como creencias, deseos e intenciones, que tal vez difieran de los de uno.

TEP. Tomografía de emisión de positrones. Técnica de neuroimágenes que mide el flujo sanguíneo en el cerebro. Véase apéndice.

Terapia conductual cognitiva. Terapia basada en la alteración de actitudes mentales de la persona, beneficiosa para afrontar muchos problemas emocionales entre los que se incluyen la depresión, el trastorno de pánico y el trastorno obsesivo-compulsivo.

THDA. Trastorno de hiperactividad por déficit de atención. Trastorno del desarrollo caracterizado por impulsividad inadecuada, problemas de atención y, en algunos casos, hiperactividad.

Tirosina. Proteína que es un componente básico de varias sustancias químicas importantes del cerebro (entre ellas la dopamina), cuya función consiste en regular el estado de ánimo.

Trastorno del desarrollo. Afección causada generalmente por un defecto genético. El inicio de los síntomas puede producirse a cualquier edad.

V4. Región de la corteza visual que procesa el color.

V5. Región de la corteza visual que procesa el movimiento.

CRÉDITOS Y FUENTES DE LAS ILUSTRACIONES

Los autores y editores muestran su agradecimiento por haber obtenido autorización para reproducir material protegido por copyright:

Figura 2.5: adaptado de Huttenlocher, P.R., Dabholkar, A.S., Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *Journal of Comparative Neurology* 1997; 387(2): 167-178. Copyright © de John Wiley. Reimpreso con autorización de John Wiley & Sons, Inc.

Figura 2.10: adaptado de Grossman, A.W., Churchill, J.D., Bates, K.E., Kleim, J.A., Greenough, W.T., A brain adaptation view of plasticity: is synaptic plasticity an overly limited concept? *Progress in Brain Research* 81 2002; 138: 91-108. Copyright © 2002 de Elsevier Science. Reimpreso con autorización de los autores y Elsevier Science.

Figura 3.1: adaptado de figura 2C de Dehaene-Lambertz, G. Dehaene, S., Hertz-Pannier, L., Functional neuroimaging of speech perception in infants. *Science* 2002; 298: 2013-2015. Copyright © 2002 de AAAS. Adaptado con autorización de los autores y AAAS.

Figura 3.2: adaptado de figura 1B de Burnham, D., Kitamura, C., Vollmer-Conna, U., What's new pussycat? On talking to babies and animales. *Science* 2002; 296: 1435. Copyright © 2002 de AAAS. Reimpreso con autorización de los autores y AAAS.

Figura 3.3: adaptado de figura 2 de Neville, Helen J. y Bruer, John T. (2001), Language processing: How experience affects brain organization, capítulo 7 de *Critical Thinking About Critical Periods*, editado por Donlad B. Bailey, Jr., John T. Bruer, Frank J. Symons & Jeff W. Lichtman. Baltimore: Paul H. Brookes Pub Co. Copyright © 2001 de

Paul H. Brookes Pub Co. Reimpreso con autorización de los autores y Brookes Publishing.

Figuras 6.1 y 6.3: adaptado de figuras 1 y 4 de Stewart, K., Henson, H., Kampe, K., Walsh, V., Turner, R., Frith, U., Brain changes after learning to read and play music. *NeuroImage* 20(2003); 71-83. Copyright © 2003 de Elsevier Science. Reimpreso con autorización de los autores y Elsevier Science.

Figura 6.4: adaptado de figura 6 de Turkeltaub, P.E., Gareau, L., Flowers, D.L., Zeffiro, T.A., Eden, G.F., Development of neural mechanisms for reading. *Nature Neuroscience* 81 2003; 6(7): 767-773. Copyright © de Nature Publishing Group. Reimpreso con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

Figura 8.1: adaptado de figura 3 de Huttenlocher, P.R., de Courten, C., Garey, L.J., Van der Loos, H., Synaptic development in human cerebral cortex. *International Journal of Neurology* 1983; 16-17: 144-154. Copyright © 1983 de *International Journal of Neurology*. Reimpreso con autorización de los autores.

Figura 8.2: adaptado de figura 1 de De Bellis, M.D., Keshavan, M.S., Beers, S.R., Hall, J., Frustaci, K., Masalehdan, A., Noll, J., Boring, A.M., Sex differences in brain maturation during childhood and adolescence. *Cerebral Cortex* 2001; 11(6): 552-557. Copyright © 2001 de Oxford University Press. Reimpreso con autorización de Oxford University Press.

Figura 8.4: adaptado de Anderson, V.A., Anderson, P., Northam, E., Jacobs, R., Catroppa, C., Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Developmental Neuropsychology* 2001; 20(1): 385-406. Reimpreso con autorización de los autores y Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Figura 9.4: figura 2 de Calvert, G.A., Bullmore, E.T., Brammer, M.J., Campbell, R., Williams, S.C., McGuire, P.K., Woodruff, P.W., Iversen, S.D., David, A.S., Activation of auditory cortex during silent lipreading. *Science* 1997; 276(5312): 593-596. Copyright © 1997 de AAAS. Reimpreso con autorización de los autores y AAAS.

Figura 9.6: adaptado de figura 1 de van Praag, H., Kempermann, G., Gage, F.H., Running increases proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus. *Nature Neuroscience* 1999; 2(3): 266-270. Copyright © 1999 de Nature Publishing Group. Reimpreso con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

Figura 9.7: adaptado de figura 2 de van Praag, H., Christie, B.R., Sejnowski, T.J., Gage, F.H., Running enhances neurogenesis, learning and long-term potentiation in mice. *Proceedings of the National Association of Sciences* 96(23): 13427-13431(1999). Copyright © 1999 de National Academy of Sciences, EE.UU. Reimpreso con autorización de National Academy of Sciences y los autores.

Figura 10.2: adaptado de figuras 2 y 3 de Berns, G.S., Cohen, J.D., Mintum, M.A., Brain regions responsive to novelty in the absence of awareness. *Science* 1997; 276(5216): 1272-1275. Copyright © 1997 de AAAS. Reimpreso con autorización de los autores y AAAS.

Figura 11.6: adaptado de figura 2 de Ranganathan, V.K., Siemionow, V., Liu, J.Z., Sahgal, V. Yue, G.H., From mental power to muscle power-gaining strength by using the mind. *Neuropsychologia* 2004; 42(7): 944-056. Copyright © 2004 de Elsevier Science. Reimpreso con autorización de los autores y Elsevier Science.

Figura 12.2: adaptado de figura 4 de Portas, C.M., Krakow, K., Allen, P., Josephs, O., Armony, J.L., Frith, C.D., Auditory processing across the sleep-wake cycle: simultaneous EEG and fMRI monitoring in humans. *Neuron* 2000; 28(3): 991-999. Copyright © 2000 de Elsevier Science. Reimpreso con autorización de los autores y Elsevier Science.

Figura 12.4: adaptado de figura 2 de Stickhold, R., James, L., Hobson, J.A., Visual discrimination learning requires sleep after training. *Nature Neuroscience* 2000; 3(12): 1237-1238. Copyright © 2000 de Nature Publishing Group. Reimpreso con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

Figura 12.5: adaptado de figura 2 de Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R., Born, J., Sleep inspires insight. *Nature* 2004, 22 enero; 427(6972): 352-355. Copyright © 2004 de Nature Publishing Group. Reimpreso con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

Figura 12.6: adaptado de figuras 1 y 2 de Maquet, P., Laureys, S., Peigneux, P., Fuchs, S., Petiau, C., Phillips, C., Aerts, J., Del Fiore, G., Degueldre, C., Meulemans, T., Luxen, A., Franck, G., Van Der Linden, M., Smith, C., Cleeremans, A., Experience-dependent changes in cerebral activation during human REM sleep. *Nature Neuroscience* 2000; 3(8): 831-836. Copyright © 2000 de Nature Publishing Group. Reimpreso con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

Figura 12.7: adaptado de figura 2 de Mednick, S.C., Nakayama, K., Cantero, J.L., Atienza, M., Levin, A.A., Pathak, N., Stickgold, R., The restorative effect of naps on perceptual deterioration. *Nature Neuroscience* 2002; 5(7): 677-681. Copyright © 2002 de Nature Publishing Group. Reimprpeso con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

Figura 12.9: adaptado de figura 1 de Kampe, K.K., Frith, C.D., Dolan, R.J., Frith, U., Reward value of attractiveness and gaze. *Nature* 2001; 413(6856): 589. Copyright © 2001 de Nature Publishing Group. Reimpreso con autorización de los autores y Nature Publishing Group.

Ilustración A.1: cortesía del Instituto de Salud Infantil, University College de Londres.

Ilustración A.2: cortesía de la Unidad de Investigación Cerebral, Laboratorio de Baja Temperatura, Universidad Tecnológica de Helsini, Finlandia.

Ilustración A.3: cortesía de Thierry Chaminade, CERMEP, Lyon, Francia.

Ilustración A.4: cortesía del Departamento Wellcome de Neurociencia de las Imágenes, University College de Londres.

Ilustración A.5: cortesía de Vincent Walsh, del Instituto de Neurociencia Cognitiva, University College de Londres.

Los editores piden disculpas por si hay algún error u omisión en la lista anterior y quedarían muy agradecidos si se les notificara cualquier corrección que debiera ser incorporada en la próxima edición o reimpresión de este libro.

ÍNDICE

Prólogo, de José Antonio Marina 5

Agradecimientos 11

La historia que se cuenta en este libro 13

1. Cerebro y educación: tópicos, errores y nuevas verdades 19
2. El cerebro en desarrollo 37
3. Palabras y números en la infancia temprana 63
4. El cerebro matemático 87
5. El cerebro alfabetizado 107
6. Aprender a leer y sus dificultades 127
7. Trastornos del desarrollo socioemocional 145
8. El cerebro adolescente 167
9. Aprendizaje a lo largo de la vida 183
10. Aprender y recordar 205
11. Diferentes formas de aprendizaje 221
12. Aprovechamiento de las capacidades de aprendidaje del cerebro 243

Apéndice 273

Lecturas adicionales recomendadas 283

Glosario 285

Créditos y fuentes de las ilustraciones 297